

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITA' DI BOLOGNA

**FACOLTA' DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN INGEGNERIA CIVILE**

DISTART
Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti,
delle Acque, del Rilevamento, del Territorio

TESI DI LAUREA
in
MECCANICA DEI MATERIALI INNOVATIVI

**DIAGNOSTICA DI STRUTTURE STORICHE:
IL CASO DI STUDIO DEL PALAZZO MALVEZZI
DE' MEDICI IN BOLOGNA**

Tesi di laurea di:
Livia Capobianchi

Relatore:
Prof. Ing. **Giovanni Pascale**
Correlatrice:
Dr. Arch. **Camilla Colla**

Sessione I

Anno Accademico 2008/2009

INDICE

Introduzione.....	3
1. L’edificio della Provincia di Bologna già Palazzo Malvezzi De’ Medici: storia, materiali e tecnologie costruttive.....	6
1.1. La storia del palazzo: le modifiche strutturali subite dal Palazzo fino ai giorni nostri.....	6
1.1.1. L’architettura del Palazzo.....	8
1.1.2. La costruzione dello scalone e successive modifiche.....	11
1.1.3. L’acquisto del Palazzo Malvezzi da parte della provincia.....	13
1.1.3.1. La ristrutturazione dell’edificio degli anni’30.....	14
1.1.3.2. Successive ristrutturazioni.....	20
1.2. Descrizione del sistema strutturale dell’edificio.....	21
1.3. Problemi dell’ edificio.....	22
2. Rilievo geometrico.....	24
2.1. Prospetti.....	26
2.2. Piante.....	27
2.3. Sezioni.....	28
2.4. Schema costruttivo e strutturale del sottotetto.....	29
3. Analisi dei dissesti nelle strutture murarie.....	33
3.1. Le cause dei dissesti.....	33
3.2. I dissesti statici.....	35
3.3. Le manifestazioni dei dissesti.....	37
3.3.1. Moti rigidi delle murature.....	37
3.3.2. Lesioni.....	38
3.3.2.1. Lesioni di trazione.....	40
3.3.2.2. Lesioni di schiacciamento.....	42
3.3.2.3. Lesioni di pressoflessione.....	47
3.3.2.4. Lesioni provocate da spinta.....	48
3.3.3. Progressione delle lesioni.....	53
3.3.4. Dissesti apparenti.....	55
3.4. Modalità di rilievo del quadro fessurativo	55
4. Il rilievo del quadro fessurativo del Palazzo.....	58
4.1. La facciata su piazza Rossini.....	61
4.2. La Facciata su via Zamboni.....	68

4.3. Il piano interrato.....	73
4.4. Il piano terra.....	77
4.5. Il primo piano.....	83
4.6. Il secondo piano.....	96
4.7. Il terzo piano.....	97
4.8. Le sezioni longitudinali.....	97
4.9. Le sezioni trasversali.....	102
4.10. La sezione longitudinale del cortile interno verso via Zamboni.....	103
4.11. Il sottotetto.....	107
5. Il legno: caratteristiche del materiale utilizzato nell'edilizia.....	111
5.1. Specie legnose.....	112
5.2. Caratteristiche strutturali del legno.....	112
5.2.1. Gli anelli di accrescimento.....	113
5.2.2. Alburno e durame.....	115
5.2.3. Fibratura tessitura e venatura.....	116
5.2.4. Direzioni anatomiche fondamentali.....	117
5.3. Difetti ed alterazioni degradative del legno.....	117
5.3.1. Difetti.....	118
5.3.2. Alterazioni degradative.....	123
5.4. Lavorazioni delle travi.....	131
5.5. Umidità stagionatura ed essiccazione.....	133
5.5.1. Movimenti del legno per effetto delle sue variazioni di umidità...135	
5.6. Diagnostica delle strutture in opera.....	141
5.6.1. Stato delle conoscenze e normativa.....	142
5.6.2. Utilità della diagnostica.....	142
5.6.3. Modalità esecutiva dell'ispezione in situ.....	144
5.6.4. Le tecniche di indagine non distruttive per il legno in opera.....	147
5.6.5. Le tecniche di indagine semi distruttive per il legno in opera.....	151
6. Strumento di indagine diagnostica del legno: il resistografo.....	156
6.1. Scopi di prova.....	158
6.2. Sviluppo storico.....	158
6.3. Descrizione dello strumento e suo funzionamento.....	159
6.4. Procedure applicative.....	162

6.5. Analisi ed interpretazione dei dati.....	166
6.6. Vantaggi e svantaggi della tecnica.....	176
6.7. Esempi applicativi.....	178
Conclusioni.....	184
Indice bibliografico e sitografico.....	186
Appendice: lo stato dell'arte sulle prove resistografiche.....	189

INTRODUZIONE

La conoscenza della costruzione storica in muratura è un presupposto fondamentale sia ai fini di un'attendibile valutazione della sicurezza sismica attuale sia per la scelta di un efficace intervento di miglioramento. Le problematiche sono quelle comuni a tutti gli edifici esistenti, anche se nel caso del patrimonio culturale tutelato, data la sua rilevanza, è ancora più critica l'impossibilità di conoscere i dati caratterizzanti originariamente la fabbrica, le modifiche intercorse nel tempo dovute ai fenomeni di danneggiamento derivanti dalle trasformazioni antropiche, dall'invecchiamento dei materiali e dagli eventi calamitosi (Linee guida per l'applicazione al patrimonio storico e culturale dell'DPCM del 12 ottobre 2007 riguardante la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale).

Per determinare le condizioni di conservazione allo stato attuale degli edifici storici è importante intraprendere un percorso della conoscenza del manufatto che si suddivide in diversi livelli di conoscenza, ad approfondimento crescente. Partendo dall'identificazione storica della costruzione e dalla sua localizzazione in relazione alle aree di rischio, passando per l'identificazione delle tecniche costruttive e dei materiali utilizzati, si arriva alla fase di rilievo geometrico della struttura nello stato attuale facendo particolare attenzione alla descrizione dei fenomeni fessurativi e deformativi.

Nel caso particolare degli edifici storici e artistici, all'interno del percorso di conoscenza approfondita del manufatto, la scelta delle tecniche di indagine deve essere fatta con particolare attenzione prediligendo, metodologie di indagine poco invasive.

Il lavoro della mia tesi avendo come obiettivo la determinazione dello stato generale di conservazione del Palazzo Malvezzi de' Medici, oggi sede dell'Amministrazione Provinciale di Bologna, percorre alcune fasi del percorso conoscitivo del manufatto suggerito dalla normativa.

Nel primo capitolo vengono riportate tutte le notizie storiche riguardanti il Palazzo; dalla costruzione nel 1560, alle modifiche apportate nel corso degli anni, fino alla ristrutturazione del 1932 che lo adibisce alla funzione di

pubblico ufficio. È riportata inoltre una descrizione geometrica strutturale dell'edificio, con attenzione ai materiali utilizzati.

Nel secondo capitolo è riportato il rilievo geometrico del palazzo, come è stato eseguito, e quali problematiche si sono riscontrate, con le tavole delle piante, dei piani, dei prospetti dell'edificio, inoltre, sono state realizzate alcune sezioni delle parti del palazzo di maggior rilievo dal punto di vista storico e artistico.

Il terzo capitolo è dedicato all'analisi dei dissesti nelle strutture murarie, vengono presentati le principali tipologie di dissesto, le cause e le manifestazioni esterne, che, come previsto dalla normativa devono essere descritte all'interno del quadro fessurativo. Il quarto capitolo è dedicato all'analisi del quadro fessurativo eseguito nel palazzo Malvezzi de' Medici. Con l'apporto esclusivo di un' ispezione visiva, supportato da materiale fotografico e da tavole grafiche, sono state disegnate le lesioni presenti nell'edificio, in particolare del corpo che si sviluppa su via Zamboni.

Nel secondo capitolo, dedicato al rilievo dell'edificio, è stato effettuato anche un rilievo del sottotetto, nel quale sono presenti numerose travi in legno, alcune originali e altre più recenti in condizioni di degrado più o meno diffuso. Per ottenere una conoscenza più approfondita dello stato di salute di questi elementi il legno, dopo aver introdotto, le caratteristiche del legno come materiale da costruzione, (capitolo 5) e aver esposto quali sono le principali tecniche di indagine sul legno, è stata effettuata una ricerca bibliografica su uno strumento di diagnosi in particolare; il Resistografo, con il quale, in futuro, poter effettuare prove di indagine non distruttive sugli elementi lignei del tetto, per una conoscenza adeguata dello stato di salute del materiale. La conoscenza approfondita degli elementi e del loro stato di salute è necessaria per poter intraprendere progetti di recupero o, dove necessario, di sostituzione degli elementi maggiormente degradati.

CAPITOLO PRIMO

L'EDIFICIO DELLA PROVINCIA GIA' PALAZZO MALVEZZI DE' MEDICI: STORIA, MATERIALI E TECNOLOGIE COSTRUTTIVE

1.1. La storia del palazzo

Via Zamboni è senza dubbio una delle arterie più insigni di Bologna; una strada ricca di storia fregiata di eleganti edifici innalzati da alcune fra le famiglie che in passato ricoprirono un ruolo di primo piano nella vita pubblica cittadina. Fra questi edifici, uno dei più ragguardevoli è sicuramente quello dell'amministrazione provinciale, conosciuto in antico come "il palazzo dal portico buio", che sorge nel punto in cui via Zamboni, facendosi più angusta, vela di preziose penombre i prospetti degli edifici (Cuppini, 2004).



***Fig.1 .1:** Palazzo malvezzi in una foto del '900. Si vede come alla luminosa e ariosa facciata verso piazza Rossini fa riscontro, in penombra, la fronte porticata su via Zamboni (Arbizzani, 2001).*

Sull'area dove sorge l'attuale edificio della Provincia esistevano fin dall'inizio del XV secolo case di proprietà della famiglia Malvezzi che, in poco tempo estese le sue proprietà immobiliari fino ad occupare tutta l'area compresa tra via Zamboni, la piazza Rossini e la via delle Campane (oggi via Benedetto XIV). Nel 1940 tutti i beni appartenenti alla famiglia

Malvezzi furono confiscati per motivi politici (in segno di ritorsione per la presunta partecipazione della famiglia nella congiura ordita contro i

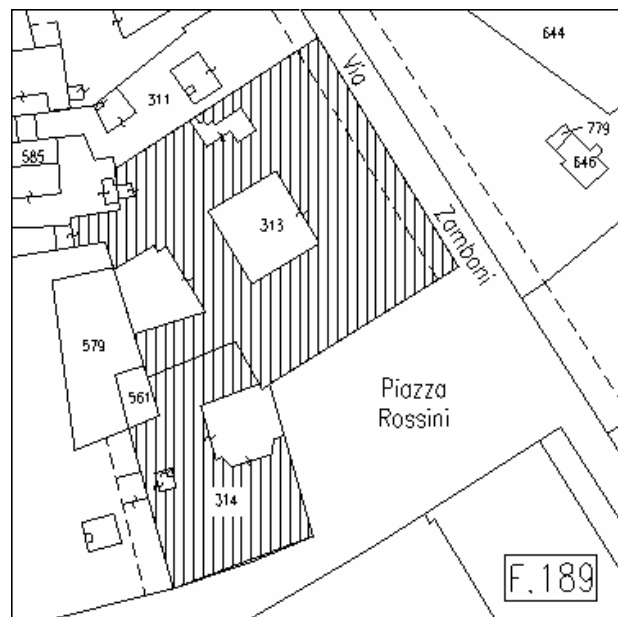


Fig.1 .2: *Pianta catastale dell’edificio; si nota la forma pressoché rettangolare del corpo principale, e la ex palazzina Malvezzi, oggi palazzina Lambertini che si estende fra piazza Rossini e via benedetto XIV.*

Bentivoglio); e solo nel 1508 i malvezzi furono reintegrati dei loro beni. Con il rifiorire delle loro fortune i Malvezzi sentirono ben presto la necessità di dare un aspetto più decoroso alla propria residenza; a tal fine decisero di erigere sull’area delle case avite un nuovo grande palazzo che doveva rappresentare il segno più evidente della loro risorta potenza politica ed economica. La costruzione del palazzo fu iniziata nel 1559, dopo il superamento di difficoltà non solo economiche tra cui le lunghe trattative con gli Agostiniani per la cessione di una porzione del sagrato della loro chiesa che avvenne nell’agosto dello stesso anno. Dopo la felice conclusione del negoziato con gli Agostiniani fu dato l’avvio ai lavori di costruzione dell’edificio. Nel 1560 l’incarico della costruzione del palazzo fu affidato a Bartolomeo Tirachini, professionista capace e architetto di talento; a cui si debbono fra l’altro il palazzo Vizzani in via S. Stefano, il cortile di palazzo Poggi e di palazzo Fantuzzi in via S Vitale. Si attribuisce l’esecuzione del Palazzo Malvezzi al Tirachini poiché, la partitura del cortile ad ordini sovrapposti di Palazzo Poggi, diviene modello per il disegno delle due facciate del Palazzo Malvezzi de’ Medici (Arbizzani, 2001).

L'edificio fu ed è tuttora un modello di civile decoro: una costruzione senza grandi pretese, ma disegnata in proporzioni corrette e calibrate allo spazio cittadino, con una scolastica successione di ordini entro un solido telaio di macigno.

Il nuovo edificio divenne residenza della famigli Malvezzi, mentre la vecchia proprietà, Palazzina Malvezzi venne adibita a sede della servitù, a stalle, magazzini, rimessa per carrozze e aveva un ingresso dall'attuale piazza Rossini. Dopo un serie di compravendite, che videro primi proprietari della Palazzina i Lambertini, che ne fecero loro residenza con un ingresso dalla via delle campane, fu la famiglia Scappi, entratane in possesso nel 1755, a rimodernarne la facciata e gli interni, e ad alzare di un piano l'edificio conferendo al complesso il carattere attuale.

1.1.1. L'architettura del palazzo

Il portico coperto ad archi rientra nella rigorosa regola di ordini sovrapposti: a pian terreno le paraste toscane poggiano su una base rialzata e inquadrano le arcate del portico sulla via di S. Donato e degli archi ciechi (come a Palazzo Poggi) sulla piazza Rossini (fig. 1.1).

Il sistema di sostegno del portico a grossi pilastri e la strettezza della strada ne fanno penetrare poco la luce, per questo il palazzo venne indicato come quello dal "portico buio" (Cuppini, 2004). La grande chiarezza di partitura dell'esterno ha perfetto riscontro nella regolare partitura degli ambienti interni. Il cortile ripete lo schema dell'esterno ad ordini sovrapposti; anche se il lato di fronte all'ingresso è un aggiunta in stile 1930 (fig. 1.3) (Cuppini, 2004).

Il Palazzo Malvezzi de' Medici è contraddistinto esternamente da una severa e composta orditura, rigidamente classica, con paramento murario a vista profilato da membrature in arenaria di ordine dorico al pian terreno, ionico al piano nobile e corinzio in quello superiore.

La fronte, prospiciente via Zamboni, si imposta su uno slanciato portico (fig. 1.4) di nove arcate a tutto sesto sorrette da pilastri cruciformi ornati all'esterno da paraste doriche.

Queste ultime portano una trabeazione in macigno di buon aggetto su cui si innestano le lesene ioniche del piano centrale a loro volta collegate alla



Fig.1 .3: Immagine del lato del cortile di fronte all'ingresso; aggiunta degli anni '30 ad opera del Boselli.

cornice di marcapiano che fa da zoccolo alle paraste corinzie che scandiscono l'ordine superiore. Corona il palazzo un ricco cornicione ritmato inferiormente da piccoli modiglioni e concluso da più robusti mensoloni posti in asse con le sottostanti paraste e intercalati da finestrelle ovali.



Fig.1 .4: Immagine del portico su via Zamboni di nove arcate a tutto sesto sorretto da pilastri cruciformi.

Questo stesso partito architettonico è ripetuto, con più ampio afflato, nella fiancata verso piazza Rossini, cadenzata analogamente alla facciata, da nove

finestre per piano, eccetto quello terreno, tutte architravate e di linee squisitamente classiche (fig. 1.1e fig. 1.5). Quelle dell'ultimo piano sono incastonate da stipiti corinzi con timpani triangolari e con teste e mascheroni nel fregio; frontoni curvilinei su stipiti ionici contraddistinguono quelle del piano nobile, mentre le finestre dell'ordine inferiore sono coronate da lunette con conchiglie in arenaria e presentano teste leonine e cartelle nei sottodavanzali. Due grandi cornici si contrappongono alle due estremità della fiancata, incorniciando, quello di levante, la porta laterale dell'edificio, e, quello di ponente, l'imbocco del portico.

Il palazzo mostrava all'ora, e tuttora conserva tali caratteristiche, una forma tendente al cubo con le due facciate divise dallo stesso numero di campiture. Si nota però nella facciata del sagrato di S. Giacomo come sul lato sinistro, sia pure simmetricamente corrispondente al destro come un portale che fa *pendant* con l'apertura dell'arco del portico, la facciata mantenga aperta una possibilità di espansione che seguendo la ferrea regola della simmetria avrebbe portato l'edificio fino all'angolo di via S. Vitale (fig.1.5), con una mole simile a quella del romano palazzo della cancelleria, con ingresso principale l'attuale portone nella piazza che sarebbe diventato l'asse della composizione.



Fig.1 .5: Immagine recente della facciata su piazza Rossini di Palazzo Malvezzi scattata da via Zamboni.

Dopo la morte di Giovanni Malvezzi, che aveva promosso la costruzione dell'edificio, l'11 dicembre del 1590, il palazzo fu assegnato in eredità ai nipoti Cornelio e Giulio Cesare Lambertini e alla moglie Antonia Sampieri. Il 2 giugno 1606, l'edificio fu venduto ai fratelli Aldrovandino, Giovanni Battista e Ottavio appartenenti al ramo dei Malvezzi detti in seguito "dal portico buio". Agli esordi del sec. XVII il palazzo si trovava nuovamente nelle mani di una ramo della famiglia Malvezzi collaterale a quello che ne aveva attuato la costruzione; questi vi risedettero ininterrottamente fino al terzo decennio del secolo scorso, arricchendolo di nuove opere d'arte e nuovi arredi. Fra i lavori di maggior spicco, va ricordata la realizzazione dello scalone di accesso al piano nobile (fig. 1.6) promossa nel 1725 dal Marchese Giuseppe Malvezzi De' Medici. L'opera fu disegnata da Ferdinando Bibiena e la conduzione dei lavori assegnata ad Alfonso Torreggiani, che la realizzò secondo l'uso di "sfondare" il muro in corrispondenza della balaustra esterna (Cuppini, 2004).

Le difficoltà di intervenire in un organismo architettonico poco disponibile alla flessibilità, così com'era concepito l'impianto cinquecentesco erano piuttosto evidenti, e lo scalone pertanto risulta costretto nelle preesistenze, il suo andamento è rigido di sapore vagamente neoclassico, oggi ancor più accentuato dalla sostituzione con materiali marmorei degli stucchi originari considerati troppo poveri da chi operò le trasformazioni per accoglierli l'Amministrazione provinciale negli anni '30 (Cuppini, 2004).

Cinque anni più tardi, nel 1730, i malvezzi provvidero al restauro del portico esterno, rinnovando tra l'altro, le lastre di arenaria di tre colonne oramai completamente logore.

Nel 1851 Giovanni Malvezzi de' Medici commissionò ad un gruppo di artisti e di artigiani bolognesi, diretti da Francesco Cocchi, la radicale trasformazione, nonché vari lavori di ornamentazione, dell'appartamento di rappresentanza del palazzo di famiglia sulla strada S. Donato, scenograficamente affacciato sulla piazza prospiciente la chiesa di S. Giacomo Maggiore. I lavori che si protrassero fino al 1854 furono determinati dalla consapevolezza dei proprietari della quasi completa mancanza, all'interno del palazzo, di decorazioni anteriori al sec. XIX.



Fig.1 .6: Immagine dello scalone, disegnato dal Bibiena, all'epoca della costruzione 1725(Arbizzani, 1725).

Inoltre i lavori di ornamentazione compresero fra l'altro la costruzione del solaio con lo "sfondato ovale" sopra l'attuale Sala del Consiglio dell'Amministrazione Provinciale, all'epoca "salone delle feste". La sala, prima dell'epoca, comprendeva due piani in altezza, con due ordini di finestre. L'obiettivo a cui il Cocchi voleva pervenire, era quello di realizzare un solaio che mantenesse viva l'idea di "uno spazio che viene moltiplicato". Esso rappresenta uno straordinario esempio di soffitto in prospettiva dipinto, tecnica illusionistica tipica del rinascimento (fig.1.7) (Arbizzani, 2001).



Fig.1 .7: Immagine dell'ovale sulla sala del consiglio, da cui si vede in prospettiva il soffitto del piano superiore.

1.1.3. L'acquisto del Palazzo Malvezzi da parte della Provincia

Fino al terzo decennio del nostro secolo la Provincia di Bologna ebbe la sua sede al primo piano di palazzo d'Accursio in coabitazione con gli uffici comunali e con la Prefettura. Con la progressiva dilatazione e con il potenziamento dei servizi pubblici a carico dei tre enti, la convivenza si era rivelata sempre più irrazionale, e inadeguata e insoddisfacente. Fu così che la Prefettura e la Provincia furono costrette ad emigrare e a cercare una nuova e più idonea ubicazione.

La decisione di procedere alla costruzione di un nuovo fabbricato per gli uffici provinciali si manifestò ai tempi della Grande Guerra, nel 1915. Quale ubicazione venne scelta l'area compresa fra l'odierna via Capraie, Calzolerie, Rizzoli e piazza della Mercanzia. Il progetto incontrò però il parere sfavorevole di minoranze politiche preoccupate per il costo esagerato dell'edificio, rispetto alle sue dimensioni tutt'altro che gigantesche.

Agli inizi del 1930, proseguiva la ricerca di una nuova sede, gli sguardi si puntarono sul palazzo Malvezzi de' Medici, posto in via Zamboni all'angolo con piazza Rossini, un fabbricato di forme dignitose adatto allo scopo anche se bisognoso di opportuni restauri e adattamenti. Il proprietario marchese Aldobrandino lo aveva da tempo messo in vendita e le trattative con l'Amministrazione provinciale iniziarono nel 1931, dopo che i tecnici dell'ente avevano compiuto un attento sopralluogo nell'edificio, trovandolo idoneo al nuovo compito. Veniva infatti realizzata una relazione tecnica in ordine alla sua struttura, alle condizioni di conservazione, al suo valore commerciale, ed ai lavori di adattamento occorrenti; la relazione concludeva che il Palazzo Malvezzi de' Medici, aveva i requisiti necessari per essere adattato a sede dell'amministrazione provinciale. L'autorizzazione all'acquisto fu data il 9 giugno 1931 e la consegna definitiva del bene da parte del marchese Aldobrandino alla Provincia avvenne il 25 luglio dello stesso anno. (faldone aspb).

L'acquisto dell'edificio da parte della Provincia negli anni '30, coinvolgeva la parte principale dell'edificio, come si vede dalla foto 1, la palazzina Lambertini verrà successivamente acquistata dalla Provincia nel 1958 per adibirla ad uso ufficio dopo i necessari lavori di trasformazione ed adeguamento.

1.1.3.1. La ristrutturazione dell'edificio degli anni '30

Subito dopo la consegna del bene, l'ufficio tecnico della provincia diretto dall'ing. Guido Lambertini compiva un esatto rilievo del fabbricato, predisponendo un dettagliato piano di ristrutturazione.

Agli amministratori e ai tecnici della Provincia il complesso acquistato dai Malvezzi fece un effetto sostanzialmente illusorio. Infatti se si escludono poche sale di buona capienza e decorosamente ornate, l'immobile era costituito da un gran numero di piccoli vani in gran parte ricavati nei vecchi stabili situati ed est della struttura cinquecentesca, ove si trovavano in antico le scuderie, i magazzini, i granai e le abitazioni della servitù e sulla cui area dove proseguire la costruzione del palazzo fino a toccare la via S. Vitale.

Assetto del palazzo Malvezzi de' Medici prima della ristrutturazione ad opera della Provincia

Archivio della Provincia di Bologna, Archivio Generale, Faldone 3980, Titolo 1, Protocollo 4331.

30 maggio 1931

Stima del Palazzo Malvezzi situato in Bologna nella via Zamboni al civico n° 13 di ragione del N.U. Marchese Aldobrandino Malvezzi, ad opera dell'ufficio tecnico della Provincia di Bologna.

[...]

Posizione dello stabile: *trovasi nella zona media del settore a levante della città, in posizione buona e pregevole; confina con la via Zamboni, con la piazza Rossini, e con le proprietà private Marconi, Accorsi, Cavalli e Marzocchi (fig 1)*

Descrizione dello stabile: *La pianta dell'edificio è di figura pressoché rettangolare e l'estensione complessiva di 1844 mq. circa, per 1530 mq. coperta e per 314 mq. scoperta a cortile.*

Per la sua diversa struttura, composizione e stato di conservazione può considerarsi così ripartita:

Corpo principale (A) (fig.1.), di solida costruzione in buono stato di conservazione in genere, con facciate su via Zamboni e piazza Rossini di notevole importanza architettonica e a ordini sovrapposti, decorate in arenarie e con parete murale a paramento visto e con portico nella via Zamboni. Verso strada si eleva di tre piani (piano terreno e due piani

superiori), per 23, 50 m; verso l'interno invece di soli due piani per 13 m di altezza.

I piani sono coperti in volto eccettuato il 2° piano, che è coperto da solai in legno. Il sotterraneo è pure in volto e si estende sui lati verso strada. Il sottotetto è praticabile. Tutti i muri sono costruiti in mattoni e malta di calce, lo spessore varia da un massimo di 0,90 m ad un minimo di 0,30 m.

Il piano terreno comprende vasti locali comunicanti fra loro; oltre locali secondari e di disimpegno verso il cortile. Un ampio scalone con parapetto e balaustri conduce al piano nobile.

Questo piano, costituente l'abitazione signorile, ha vaste sale affrescate con pareti tappezzate ed infissi riccamente decorati; queste sale sono comunicanti fra di loro e disimpegnate da locali minori e in buono stato di manutenzione prospicienti il cortile principale.

Il 2° piano corrisponde per numero e di locali ed in ampiezza al 1° piano, ma questo non è compiuto poiché mancano le opere di finitura.

Corpo di fabbricato (B) sul lato Sud del cortile principale a due piani con locali a diverso livello coordinati al corpo principale mediante scale. Questo corpo di fabbricato è in mediocre stato di conservazione.

Corpi di fabbricato (C), (D), (E) costituenti adiacenze di servizio e modeste abitazioni, sul confine ovest, in cattivo stato di manutenzione, a due piani con distribuzione interna irregolare; i muri si elevano con spessore variabile da 0,45 m a 0.15 m.

Il corpo principale (A) si estende per 1070 mq con un volume di 21179 mc; gli altri (B), (C), (D), (E) occupano una superficie di 460 mq con un volume di circa 6000 mc.

Il tetto dei singoli corpi di fabbricato è di comune struttura in mediocre stato di conservazione; in talune parti, data la vetustà, si richiedono rinnovazioni e rafforzamenti. I soffitti dei corpi secondari sono anch'essi in mediocre stato, taluni hanno subite avarie per infiltrazione d'acqua dal tetto; i pavimenti in parte a mattoni in parte a battuto alla Veneziana sono pure in mediocre stato, taluni richiedono riparazioni.

I lavori di restauro iniziarono il 28 ottobre 1931 sotto la direzione dell'architetto Emilio Boselli, lo stesso che anni prima aveva elaborato i due progetti per la nuova sede della provincia in via Rizzoli.

Progetto di ristrutturazione di palazzo Malvezzi de' Medici

Archivio della Provincia di Bologna, Archivio Generale, Faldone 4119, Titolo 1, Anno 1932

Progetto dei lavori per adattamento del palazzo già Malvezzi de' Medici a sede della Amministrazione Provinciale di Bologna.

[...] Nella compilazione del progetto definitivo, di esecuzione, che l'ufficio si pregia presentare accompagnato dalla presente relazione si sono seguiti appunto i criteri che indicano lo studio di massima che servì per riferire sull'idoneità del palazzo e sulla spesa presunta per il suo adattamento. [...]

Vengono poi riportati la composizione interna e lo stato di conservazione dei vari elementi, come nella relazione precedentemente illustrata, con specifici riferimenti alla possibilità di adattare o meno con facilità gli ambienti alla nuova funzione.

Si legge che mentre il corpo (A) presenta caratteristiche tali da renderlo idoneo alle nuove destinazioni d'uso, i corpi (B), (C), (D), (E) presentano distribuzione interna che mal si presta ad uso uffici.

[...] Ciò premesso, quest'ufficio nella compilazione del progetto ha cercato di conseguire tutta la possibile utilizzazione dei locali e dello spazio disponibile, dipendentemente però dalla loro attitudine all'adattamento, distribuzione e particolare destinazione, assegnando al tempo stesso ai cortili l'ampiezza maggiore possibile al fine di dare agli uffici la necessaria luce e areazione.

Il progetto comprende:

- a) La demolizione dei corpi di fabbricato sul lato Sud del 1° cortile e sul confine Ovest della proprietà in contiguità dello scalone d'accesso al piano nobile, ed estendentesi al 2° cortile, per far posto a nuove costruzioni;*
- b) La costruzione di un nuovo corpo di fabbricato sul lato Sud del 1° cortile, con la sistemazione decorazione e rettifica del cortile stesso;*
- c) La costruzione di un corpo di fabbricato lungo il confine Ovest a fianco dello scalone (di cui era previsto il restauro per rimettere in luce i*

- balaustri occultati da un muro innalzato nel 1850), congiungentesi con altro corpo di fabbricato in prolungamento sul lato del 2° cortile;*
- d) La costruzione di appendice per l'ascensore;*
 - e) La sopraelevazione della parte del corpo principale prospiciente il cortile sui lati Est e Nord;*
 - f) La ultimazione del secondo piano del corpo principale con la ripartizione dei locali del piano medesimo, e la costruzione di solaio in ferro fra questo ed il sottotetto per il tratto prospiciente piazza Rossini;*
 - g) Gli adattamenti dei vari piani, sistemazioni varie e rinnovo dei pavimenti;*
 - h) Sistemazione del coperto del corpo principale;*
 - i) Impianti di riscaldamento, luce, acqua, ascensori, telefoni, suonerie e gli altri impianti sanitari;*
 - l) I lavori in legno;*
 - m) Le opere di finimento: decorazioni, coloriture e verniciature.*

[...]

Il progetto di adattamento prevedeva peraltro la costruzione di un ingresso sulla piazza Rossini (fig. 1.8) destinato all'ingresso degli automezzi, poiché l'ingresso sulla via Zamboni data la sua ridotta geometria, non assolveva a tale funzione.

Si legge nella relazione: [...] *Avanzando perciò in corrispondenza delle quattro pilastrate contenenti le tre arcate centrali della facciata in piazza Rossini, quattro colonne sporgenti per $\frac{3}{4}$ del loro diametro e poggianti sopra un piedistallo d'ordine dorico-toscano, sì da formare un intercolumnio stesso, con rispetto alla ricorrenza delle linee dell'architrave della trabeazione corrispondente alle anzidette pilastrate, ed ai profili dei capitelli e delle basi, si è ritenuto di conseguire una soluzione armonica, confacente all'architettura dell'edificio.* [...]

Fortunatamente, il parere contrario della Soprintendenza alle Belle Arti di Bologna al progetto di aprire un nuovo ingresso sulla piazza Rossini ne impedì l'esecuzione; questa non solo non sarebbe stata in linea con l'architettura civile bolognese, ma soprattutto avrebbe irrimediabilmente compromesso e snaturato l'originaria severa e classica impaginazione.

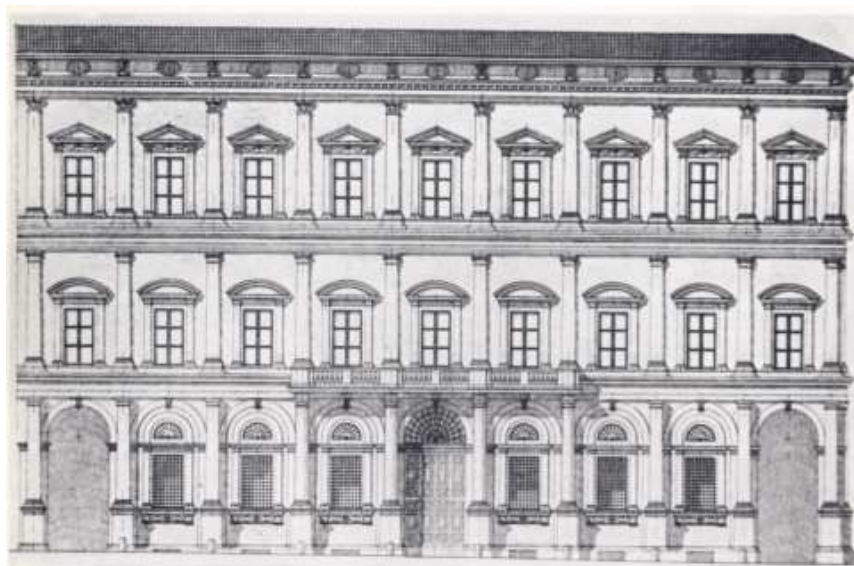


Fig.1 .8: Prospetto di Palazzo Malvezzi su piazza Rossini; l'immagine risalente agli anni '30 mostra il progetto, mai realizzato della realizzazione di un secondo ingresso del palazzo su piazza Rossini (Arbizzani, 1725).

Il piano di ristrutturazione, redatto dal Boselli, lasciò l'esterno dell'edificio immune da invenzioni e interpretazioni arbitrarie dello stesso, stessa cosa non può dirsi per l'interno dell'edificio, che non fu risparmiato da aggiunte e inserimenti di elementi poco in linea con

Appare infatti abbastanza comprensibile la creazione di una nuova corte d'onore porticata, dettata da motivi estetico-funzionali, e dalla nuova destinazione pubblica del fabbricato; non si comprende bene invece, la scelta della soluzione adottata che ha contemplato l'inserimento di elementi architettonici prima non riscontrabili anche se presenti, con ben altro respiro, all'esterno del palazzo. L'intervento del Boselli, anziché una reintegrazione o un completamento di un disegno originario, si configura come un'innovazione del tutto fasulla.

Ancor più sconcertante si rivela la costruzione ex novo del lato di fondo dello stesso cortile dove un prospetto porticato, fatto ad imitazione di quelli laterali a ordini sovrapposti inventati dal Boselli, è venuto a prendere il posto di un semplice corpo di fabbrica ravvivato al pian terreno da una finta prospettiva architettonica a loggiati. Se con questo fondale il cortile poteva lasciare all'osservatore una sensazione di incompiutezza (che palesava l'intenzione dei malvezzi di proseguire il palazzo verso via S. Vitale e ampliare conseguentemente lo spazio cortilizio) con la nuova sistemazione, l'ambiente anziché guadagnare in slancio e ariosità è venuto a trovarsi

schiacciato dalle masse incombenti dei quattro prospetti. L'impressione di pesantezza è poi aumentata dalle membrature architettoniche aggiunte dal Boselli, e soprattutto dalla sopraelevazione che appare che appare insufficientemente arretrata rispetto alla linea di gronda.

Gravi alterazioni subì anche lo scalone del Bibiena; la conferma del restauro poco ortodosso ci viene data dal raffronto con vecchie fotografie di epoca precedente il restauro, da esse risulta evidente che le membrature architettoniche, timpani, modanature delle finestre e delle porte sono tutti di imitazione, così come la statua posta a decorazione del gradino d'invito. Il Cuppini parla di "sapore neoclassico" che è decisamente determinato dalla pesante bardatura aggiunta nei restauri del Boselli (fig. 1.9) (Arbizzani, 2001). La pesante ristrutturazione di quegli anni, giustificata dal mutamento di proprietà e di destinazione d'uso, non ha stravolto né la distribuzione né le decorazioni dei soffitti in quella parte dell'edificio che ora ospita le sale del Consiglio, della Giunta e di rappresentanza dell'Amministrazione provinciale (Arbizzani, 2001).



Fig.1.9: Vista dello scalone successiva alle modifiche apportate dal Boselli 1932. Al raffronto con la fig. 1.5 si notano le pesanti sostituzioni operate nella ristrutturazione del '32 (Arbizzani, 2001).

1.1.3.2. Successive ristrutturazioni

Il secondo massiccio intervento di ristrutturazione che interessò l'edificio negli anni '60, aveva lo scopo di trasformare l'adiacente "Palazzina"

(Corrispondente alle ex scuderie di casa Lambertini) in estensione del palazzo stesso. Con questo intervento l'antica struttura delle scuderie fu completamente svuotata e ricostruita e unita al Palazzo, nel frattempo sopraelevato di un piano. Se da un lato questi interventi procurarono spazi per l'espansione della struttura amministrativa della Provincia, da essi derivò una serie di disfunzioni strutturali distributive di cui ancora oggi la sede è afflitta. Non sempre infatti furono felici le scelte di materiali, le soluzioni strutturali e di assetto ed impiantistiche, spesso incongrue con la situazione storica e fisica del manufatto. Tutto questo, unitamente ai fattori di vetustà ed usura, nonché alle mutazioni di funzione dell'Ente, consigliò già all'inizio degli anni '90, di concepire un programma di intervento che coinvolgesse l'intera struttura in un'opera di conservazione e rinnovamento, con il vincolo di mantenere sempre operativi gli uffici ospitati, adeguando la sede dell'Amministrazione Provinciale alle nuove normative in materia di igiene, sicurezza, prevenzione e protezione, sostenibilità, ergonomia, e alle nuove tecnologie.

Dal punto di vista strettamente edilizio il programma impostato prevedeva di intervenire innanzitutto per il risanamento a scopo conservativo e di recupero, dei coperti, delle facciate, e dei sotterranei nonché il rifacimento degli impianti. Si è cercato con questo intervento di portare la struttura, per mezzo di intensivi ed estensivi interventi di manutenzione straordinaria e di restauro, ad una soglia di efficienza che permettesse di intervenire nel seguito con interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria programmata per mantenere costante lo stato di abitabilità e usabilità del complesso edilizio.

Nel 1992, la necessità di informatizzare la gestione dell'Ente ha favorito il recupero dei sotterranei, oggetto di risanamento per ospitare la prima centrale informatica. Nel 1994-1996 sono state restaurate con metodi scientifici le facce monumentali su via Zamboni e su piazza Rossini, fermandone il degrado conseguente all'azione di agenti atmosferici e consolidando l'intera superficie decorata, a seguire è stato effettuato il risanamento delle facciate interne.

1.2. Descrizione del sistema strutturale

Palazzo Malvezzi è situato all'angolo tra piazza Rossini e via Zamboni; se si esclude la Palazzina Lambertini, acquistata dalla Provincia nel 1958, il corpo principale del Palazzo ha una forma pressoché rettangolare e la sua estensione complessiva è di circa 1844 mq, di cui 1530 mq coperti e 314 mq scoperti a cortile. L'Edificio può dividersi in due parti costituite da un numero di piani differenti; la parte prospiciente la piazza Rossini che prosegue a L sulla via Zamboni si compone di quattro piani fuori terra più un piano interrato. Mentre nella parte a sud del cortile principale interno, tra il piano terra e il primo piano, e tra il primo piano e il secondo sono interposti due ammezzati. L'edificio si eleva per circa 24 m di altezza.

I piani dell'edificio presentano tutti delle coperture a volta; nel piano interrato, le volte sono tutte a crociera in pietra (probabilmente arenaria locale di Varignana) sorretti da pilastri di dimensioni variabili, da 90x90 cmq, fino a un massimo di 130x100 cmq. Il piano terra risulta per lo più controsoffittato, fatta eccezione per la sala a destra del portone principale che presenta una tipologia di volta a padiglione in muratura e per le sale adiacenti il cortile interno dalla parte di piazza Rossini, anch'esse coperte da questa tipologia di volta. L'ingresso è coperto da una volta a botte, mentre i locali di disimpegno adiacenti al cortile presentano delle volte a crociera, così come il portico su via Zamboni composto da nove arcate. Si accede al primo piano, o "piano nobile", mediante lo scalone principale del '700 opera del Bibiena. Le volte del piano nobile, sono delle "finte volte"; infatti i solai sono in legno, con orditura principale costituita da capriate rovesce con controsoffittatura in arellato, ad esso, sono incollate, le decorazioni realizzate su carta nella metà dell'ottocento. Si trova in questo piano l'attuale Sala del Consiglio, in cui si riscontra un soffitto particolare, al centro del quale è stato realizzato un ovale di 20,90 mq. In corrispondenza di questa sala, al piano superiore, secondo piano, troviamo la Sala Ovale, avente uno sviluppo planimetrico rettangolare di 11.30 m per 13.60 m per complessivi 153,68 mq. Il secondo piano è interamente coperto da solai in legno.

I muri portanti sono tutti costruiti in mattoni e malta di calce con uno spessore che varia, fino a un massimo di 90 cm.

Durante le indagini tenute in occasione dei lavori di rinnovo degli anni '90 è stata osservata una leggera differenza tra l'ottima qualità della pietra utilizzata nella costruzione della parte bassa dell'edificio, e quella, sicuramente più scadente, utilizzata per i piani superiori.

Le fondazioni sono composte in parte di pietra di gesso e con inserti in selenite proveniente, con buona probabilità, dall'uso di parti di mura romane che corrono lungo la traccia della via Zamboni.

1.3. Problemi dell'edificio

Il palazzo della Provincia da indagini piuttosto recenti, risulta interessato da numerosi dissesti statici le cui manifestazioni esteriori sono si presentano sotto forma di fessurazioni e deformazioni presenti su tutta l'estensione della struttura.

I dissesti maggiori che interessano l'edificio sono dovuti cedimenti differenziali delle fondazioni, generati dalla presenza di una faglia di subsidenza che attraversa l'edificio diagonalmente; l'area interessata, come si può notare nella fig. 1.9, è quella sottostante la Sala Ovale. La muratura seguendo i movimenti dell'edificio, tende ad adeguarsi alla nuova configurazione, provocando l'apertura di crepe su elementi strutturali, quali pavimenti, soffitti e pareti. Inoltre, i passati lavori di ristrutturazione hanno portato temporanei carichi aggiuntivi (ad esempio gli archivi) all'interno degli ambienti, comportando evidenti peggioramenti della situazione.

I principali problemi relativi all'interno dell'edificio, sono inoltre da imputarsi alla nuova destinazione d'uso dell'edificio a pubblici uffici. Questo ha inevitabilmente comportato periodi di sovraffollamento, con picchi di temperatura e di umidità relativa che hanno modificato il microclima in un tempi relativamente brevi. Ciò potrebbe aver condizionato le decorazioni interne, in particolare le decorazioni colorate del piano nobile e del secondo piano che sono dipinte su carta da parati incollata alla

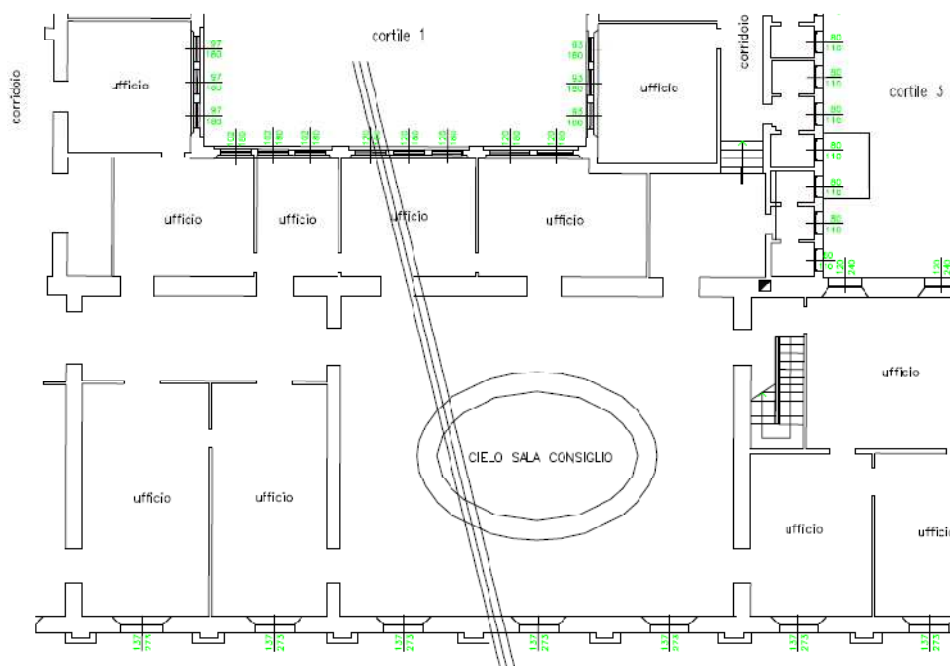


Fig.1 .9: Planimetria del secondo piano dell'edificio; le linee oblique indicano la direzione supposta della faglia di subsidenza.

struttura lignea della volta, ulteriormente compromesse dai movimenti del legno, estremamente sensibile alle variazioni igrometriche.

Le travi in legno costituenti il tetto dell'edificio sono state anch'esse sottoposte ad infiltrazioni d'acqua e presentano perciò numerose aree degradate.

L'ambiente esterno è invece sottoposto al traffico urbano (oggi limitato) nel tratto di via Zamboni particolarmente angusto, questo ha da un lato provocato fenomeni vibratori dannosi per la costruzione, e dall'altro, comportato, a causa dell'inquinamento il degrado superficiale del materiale.

CAPITOLO SECONDO

IL RILIEVO GEOMETRICO DEL PALZZO MALVEZZI DE' MEDICI SEDE DELL'AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE

La conoscenza della geometria strutturale di organismi esistenti in muratura deriva di regola da operazioni di rilievo. Il rilievo dovrà essere riferito sia alla geometria complessiva dell'organismo che a quella degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con gli eventuali edifici in aderenza.

La descrizione stereometrica della fabbrica comporta l'individuazione delle caratteristiche planoaltimetriche degli elementi costruttivi. Pertanto ad ogni livello, andranno rilevate la geometria di tutti gli elementi in muratura, delle volte (spessore e profilo), dei solai e della copertura (tipologia e orditura), delle scale (tipologia strutturale), la localizzazione delle eventuali nicchie, cavità aperture richiuse, canne fumarie, elementi estranei inclusi e la tipologia delle fondazioni.

La rappresentazione dei risultati del rilievo verrà effettuata attraverso piante, alzati e sezioni oltre che con particolari costruttivi di dettaglio (Linee guida per l'applicazione al patrimonio storico e culturale dell'DPCM del 12 ottobre 2007, riguardante la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale).

Il rilievo geometrico all'interno del palazzo della Provincia è stato effettuato per completare gli elaborati grafici di cui eravamo già in possesso. Erano infatti a disposizione le piante dei quattro piani fuori terra e dell'interrato e i prospetti delle facciate su via Zamboni e su Piazza Rossini. Con l'aiuto di strumenti di misura, quali il metro a stecca e un distanziometro elettronico, sono state rilevate delle misure in sito per quelle parti in cui non c'era corrispondenza tra gli elaborati e la realtà.

Non sappiamo infatti a che epoca risalissero i disegni di cui eravamo in possesso, ma erano evidenti all'interno di essi, elementi mancanti, presenti invece nell'edificio. Dopo aver sistemato i disegni esistenti, si è passati all'elaborazione di alcune sezioni dell'edificio, dove poter riportare il quadro fessurativo che sarebbe stato rilevato in seguito.

Sono state perciò costruite due sezioni longitudinali del corpo prospiciente via Zamboni, due sezioni trasversali dello stesso corpo passanti per la sala del Consiglio e una sezione longitudinale passante per il cortile interno rivolta verso la via Zamboni.

Inoltre al fine di investigare la struttura lignea del tetto, è stata realizzata una pianta del sottotetto cercando così di individuarne lo schema costruttivo.

Le tavole sono state stampate in formato A1 e riportate in allegato alla tesi.

2.1. I prospetti dell'edificio

Tavola 1: Prospetto su via Zamboni

Tavola 2: Prospetto su piazza Rossini

2.2. Le piante dell'edificio

Tavola 3: Piano interrato

Tavola 4: Piano terra

Tavola 5: Primo piano

Tavola 6: Secondo piano

Tavola 7: Terzo piano

Tavola 8: Sottotetto

2.3. Le sezioni dell'edificio

Tavola 9: Sezione longitudinale verso via Zamboni (Sezione BB').

Tavola 10: Sezione longitudinale opposta a via Zamboni (Sezione AA').

Tavola 11: Sezione trasversale verso piazza Rossini (Sezione CC'), e sezione trasversale opposta a piazza Rossini (Sezione DD').

Tavola 12: Sezione longitudinale del cortile interno verso via Zamboni (Sezione FF').

2.4 Il sottotetto: schema strutturale e costruttivo

La superficie di copertura dell'edificio è determinata da falde e pioventi.

Il tetto è caratterizzato dalla linea di colmo di massima quota, ottenuto con intersezione delle due falde inclinate del tetto e dalla linea di gronda di minima quota ottenuta dall'intersezione tra le falde inclinate con il piano orizzontale, detto piano d'imposta del tetto.

Come si vede nella tavola 8, la porzione del sottotetto rilevata sovrasta tutto il corpo principale dell'edificio che si estende sulla piazza Rossini, e i primi 18 metri (dalla piazza) del corpo su via Zamboni.

È possibile accedere al sottotetto dell'edificio solo dal corpo prospiciente piazza Rossini.

Il sottotetto del corpo su piazza Rossini, presenta una struttura portante che sorregge le cinque travi principali del manto di copertura ligneo (di dimensioni 25x25 quelle laterali, 15x20 quella di colmo) formata da nove campate. Nelle prime sette si alternano quattro strutture portanti in laterizio, costituite ognuna da una serie di cinque pilastri allineati perpendicolarmente alla linea di colmo (fig. 2.4) che sorreggono le travi principali, intervallate da tre campate costituite da una struttura portante in legno (fig. 2.5); le ultime due campate sono invece entrambe in legno. La struttura in legno (fig. 2.5) è costituita da una trave orizzontale 30x30, incastrata mediante staffe a due pilastri in legno (su di essi poggiano le travi di colmo intermedie) e a due travi oblique. Su di esse poggiano le travi di quota minore del manto di copertura. Le travi oblique e i pilastri sono collegati entrambi alle travi sottostanti il solaio del sottotetto, visibili dal piano inferiore. Nella mezzera della trave si innalza un altro pilastro che sorregge la trave di colmo più alta. Queste strutture in legno hanno funzione di rompi tratta.

Sulle travi di colmo si appoggiano i travetti (14x9) su cui è posizionato un tavolato.

Per migliorare l'appoggio trave trave, e soprattutto trave pilastro, sono interposte delle mensole in legno di lunghezza variabile (fig.2.6); da un minimo di 70 cm a un massimo di 180 cm.

Il manto è costruito con vari materiali che, grazie al modo in cui sono

collegati e alla loro pendenza dovrebbero assicurare la tenuta dell'acqua.

La copertura è discontinua di tegole in laterizio.

Lo schema strutturale è riassunto negli schemi di fig. 2.1, 2.2 e 2.3, in cui sono evidenziati i metodi costruttivi delle due tipologie di campata.

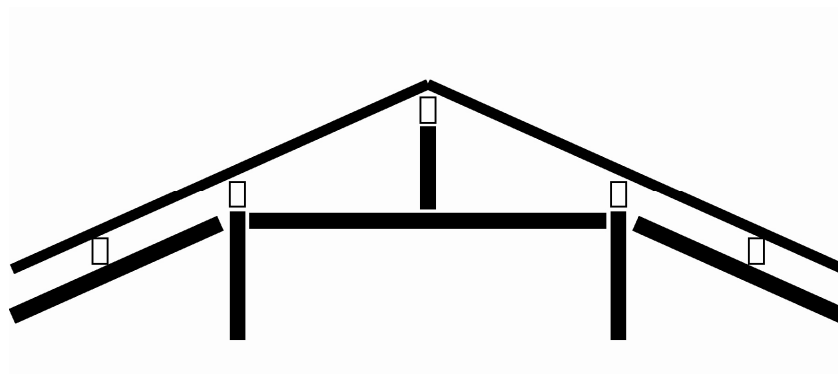


Fig. 2.1.: Schema riassuntivo della struttura in legno che ha funzione di rompitratta.

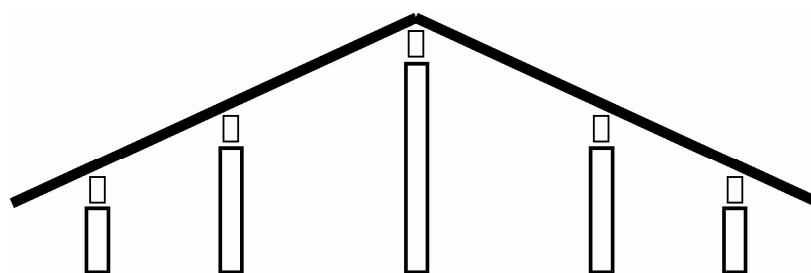


Fig. 2.2.: Schema riassuntivo della struttura portante in laterizio

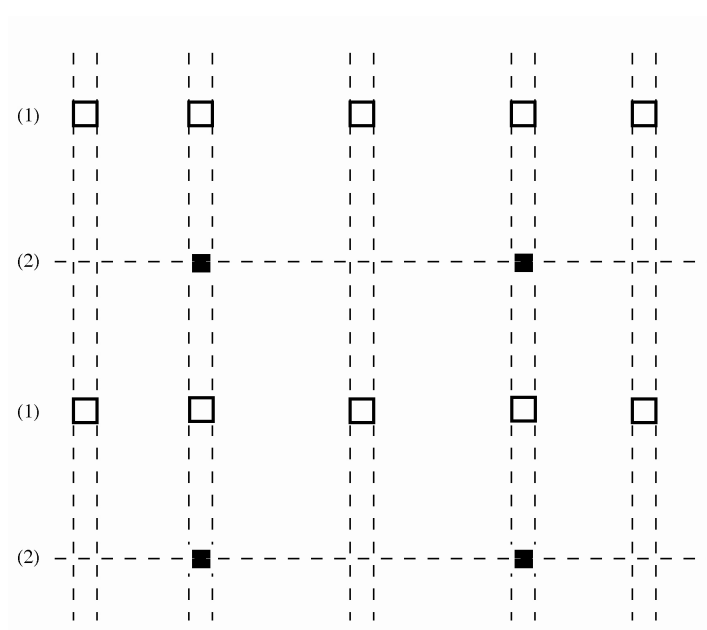


Fig. 2.3: Schema riassuntivo della successione delle campate; 1) struttura portante in laterizio (fig.2.1), 2) Rompitratta in legno (fig. 2.2)



***Fig. 2.4.:** Esempio di campata portante costituita da pilastrini in muratura, si vedono sopra i pilastri le mensole in legno che migliorano l'appoggio trave pilastro .*



***Fig. 2.5.:** Esempio di campata in legno del sottotetto dell'edificio; anche in questa foto sono visibili le mensole che migliorano l'appoggio trave trave.*

CAPITOLO TERZO

L'ANALISI DEI DISSESTI NELLE STRUTTURE

MURARIE

I complessi edilizi, nella loro essenza strutturale sono costituiti di membrature costruttive connesse dimensionate in modo da poter assolvere, entro i limiti dei carichi di sicurezza, ai compiti statici loro affidati, rispettando le resistenze caratteristiche dei materiali con cui sono costruite (Mastrodicasa, 1993). Diverse cause possono, però, indurre delle alterazioni nel regime d'equilibrio del complesso richiedendogli nuove configurazioni con una diversa distribuzione delle tensioni che non sempre sono rispettose dei limiti del materiale (Antonucci, 2003). Superati i limiti dei materiali, le alterazioni determinano dei dissesti statici nella massa muraria, annunciati da manifestazioni caratteristiche dette lesioni (Mastrodicasa, 1993). Le lesioni che denunciano in genere la liberazione di stati tensionali presenti nella struttura, non sempre sono implicabili a imminenti condizioni di pericolo, ma semplicemente rappresentano il raggiungimento di una nuova configurazione di equilibrio che può essere altrettanto valida di quella precedente (Antonucci, 2003).

Ogni causa perturbatrice induce delle alterazioni nel regime d'equilibrio del complesso insidiato; alterazioni che, superati certi limiti, determinano dei dissesti statici nella massa muraria, annunciati da manifestazioni caratteristiche dette lesioni (Mastrodicasa, 1993).

In questo capitolo verranno forniti cenni teorici sull'analisi del dissesto, le cause e le manifestazioni visive di tale problematica.

3.1. Le cause dei dissesti

Le cause perturbatrici, sono tutte quelle avverse vicende che cospirano a danno della buona conservazione degli edifici. Come abbiamo detto, se i dissesti sono le cause e le lesioni gli effetti, nella fase regressiva i dissesti diventano gli effetti delle cause perturbatrici, ma la corrispondenza biunivoca che c'è tra dissesti e lesioni, ovvero che a una lesione corrisponde un solo dissesto e viceversa, non può dirsi per la relazione tra dissesti e cause perturbatrici. Il dissesto considerato quale effetto, non è conseguenza

di una causa unica e determinata, ma di un insieme di cause che intervengono nelle loro combinazioni più varie. Lo stesso principio vale per ciascuna causa elementare considerata quale effetto di cause anteriori.

Il dissesto di traslazione verticale, per esempio, considerato quale causa presenta, quale effetto, un quadro deformativo e fessurativo caratteristico e inconfondibile; lo stesso dissesto considerato quale effetto può discendere da cause le più diverse quali:

- eccessiva compressibilità del terreno fondale;
- lo schiacciamento delle regioni murarie basali;
- lavori di sterro nelle vicinanze;
- depressioni di archi o di travate;
- la sopraelevazione di edifici col conseguente aumento dei carichi;
- la fluidificazione del suolo dovuto a infiltrazioni (Mastrodicasa, 1993).

Possono in generale essere considerate quali cause perturbatrici la vetustà, nemica inesorabile delle costruzioni insidia la materia, le variazioni termiche e igrometriche determinano talvolta notevoli soluzioni di continuità, e gli agenti atmosferici inducono processi di degradazione tanto più celeri e profondi quanto più a essi la materia è esposta. I moti del terreno inducono nelle masse murarie smembramenti talvolta gravi e i sovraccarichi producono dei preoccupanti dissesti se le strutture di sostegno sono insufficienti nelle sezioni o costituite di materiale non idoneo o mal connesso (Mastrodicasa, 1993)

Come moti del terreno si intendono principalmente i cedimenti e le spinte del terreno.

I cedimenti fondali, uniformi o differenziali, sono in genere dovuti all'abbassamento del piano di posa dell'edificio, in seguito alla sopraggiunta portata massima del terreno di fondazione o alla presenza di deformazioni legate alla deformabilità del terreno stesso. La difficoltà nella conoscenza precisa del comportamento del terreno di fondazione porta a semplificare il problema, schematizzando l'interazione terreno-struttura. I cedimenti del suolo, e le conseguenti ridistribuzioni degli sforzi tra suolo e struttura, possono essere distinti in tre categorie:

- cedimenti dipendenti da carichi direttamente trasmessi dalla costruzione;

- cedimenti dipendenti da variazioni di carico nelle zone adiacenti (scavi)
- cedimenti indipendenti dai carichi direttamente trasmessi, dovuti ad esempio alla presenza di falde acquifere o ad effetti dinamici.

Inoltre, bisogna tenere in considerazione la posizione del cedimento, infatti cedimenti fondali centrali sono meno pericolosi dei cedimenti fondali laterali, o periferici, poiché diminuiscono le possibilità di collaborazione tra le strutture resistenti adiacenti (fig. 2.1) (Antonucci, 2001).

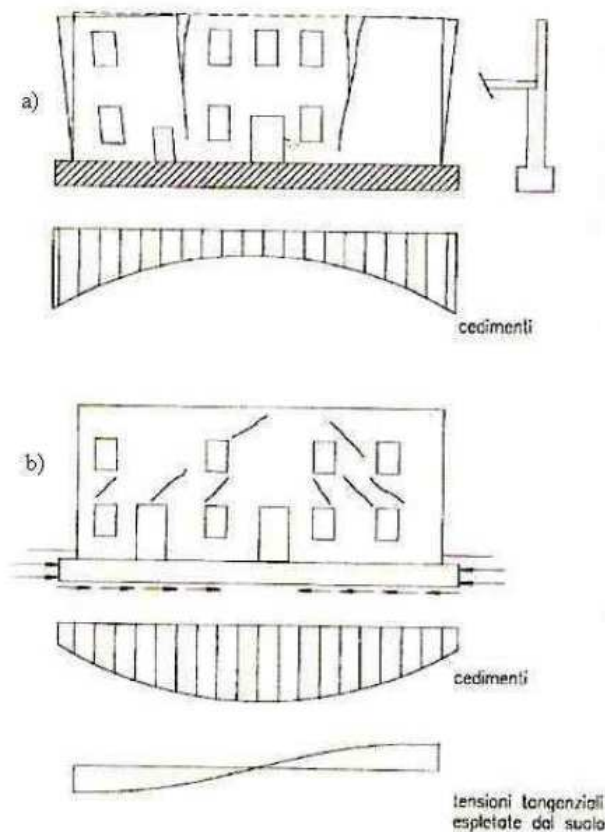


Fig. 2.1: Lesioni provocate da a) cedimenti fondali centrali e b) cedimenti fondali periferici (Antonucci, 2001).

3.2. I dissesti statici

I dissesti sono la manifestazione esterna di una crisi che investe interamente la costruzione o in qualche sua parte. La manifestazione esterna non è strettamente correlata alla condizione statica, per cui non si può affermare che un edificio che presenta sintomi di dissesto sia in pericolo a differenza di un altro che non presentandone sia in condizioni di sicurezza. Tuttavia i segni dei dissesti devono essere un campanello d'allarme che qualcosa nella struttura non funziona; il passaggio successivo, sarà stabilire se ne segue o meno una condizione di pericolo e di che entità. I segni esterni dei dissesti

hanno un loro modo di manifestarsi, ed è proprio nell' interpretazione di questi che si incontrano maggiori difficoltà, in quanto le strutture murarie si prestano poco ad un' analisi rigorosa e non sempre la correlazione tra causa ed effetto è univoca (Defez, 1983).

Il principio di causalità nella faticenza muraria è regolato da una semplice corrispondenza biunivoca fra dissesti (cause) e lesioni (effetti); assegnato uno dei due, l'altro risulta determinato. Questa semplice corrispondenza biunivoca non è verificata fra questi enti in fase regressiva perché il dissesto, considerato quale effetto non è conseguenza di una causa unica e determinata, ma di un insieme di cause che intervengono nelle loro combinazioni più varie (Mastrodicasa, 1993).

Una prima suddivisione della tipologia del dissesto deve essere effettuata tra i dissesti interni ed esterni. I dissesti interni delle masse murarie derivano esclusivamente da deficienze strutturali delle membrature del sistema murario, mentre i dissesti esterni dipendono essenzialmente dai cedimenti del suolo. Si classificano come dissesti interni:

- l'assestamento;
- lo schiacciamento;
- la pressoflessione;
- la spinta;
- la depressione delle strutture orizzontali;
- i turbamenti d'origine vibratoria e sismica (Mastrodicasa, 1993).

I dissesti esterni generati da cedimenti, uniformi o differenziali, si manifestano come moti delle strutture, che possono essere relativi o assoluti; sono moti relativi quelli che inducono alterazioni nella forma del complesso perché variano le mutue distanze e il mutuo orientamento tra le particelle elementari; sono invece assoluti quei moti che lasciano invariata la forma dell'intero sistema. Essi sono:

- la traslazione verticale;
- la traslazione orizzontale;
- rotazione attorno ad un asse orizzontale giacente nel piano della base fondale (Mastrodicasa, 1993).

I fenomeni di rotazione di una parete muraria possono essere causati da cedimenti differenziali del piano di fondazione della parete, oppure da

spinte orizzontali. La caratteristica di questi dissesti è che aumentano considerevolmente con l'aumento della quota. La rotazione della parte terminale della muratura collegata ad una muratura trasversale, in assenza di cedimenti verticali, produce lesioni verticali ubicate nella zona di separazione dei due corpi (Antonucci, 2001).

Il dissesto per fenomeni di schiacciamento può essere imputato all'eccesso di carico, oppure al degrado delle malte per vetustà, a laterizi poco resistenti, o ancora, alla cattiva realizzazione delle murature. I fenomeni di disgregazione delle malte sono molto frequenti, poiché le irregolarità del piano di posa creano concentrazioni di tensione che lesionano i giunti e spesso anche i mattoni. La rottura per schiacciamento del laterizio avviene in quanto esso è sottoposto a compressione e trazione, dovuti alla deformabilità della malta, creando fessure verticali ortogonali al giunto. Lo schiacciamento degli elementi strutturali, invece, può verificarsi sotto il peso proprio o a causa di carichi concentrati (Antonucci, 2001).

Altra differenziazione può essere fatta tra i “dissesti di tipo diretto” e “dissesti di tipo indiretto”. Appartengono al primo gruppo quei dissesti che interessano direttamente la struttura muraria portante, mentre al secondo gruppo appartengono quelli che interessano gli elementi costruttivi secondari, e pertanto portati. I due tipi di dissesto generalmente coesistono e possono denunciare un comportamento anomalo della struttura muraria. I dissesti di tipo indiretto pur non investendo la sicurezza dell'insieme strutturale, possono di per se costituire un pericolo quando la loro caduta può provocare danno, e rappresentano comunque, il segno di un dissesto che può interessare o meno la struttura portante, la quale può invece aver sopportato uno stato deformativo senza manifestare segni esterni apparenti (Defez, 1983).

3.3. Manifestazioni dei dissesti

I dissesti statici possono manifestarsi nelle strutture sotto forma di:

- moti rigidi;
- lesioni (Defez, 1983).

3.3.1. Moti rigidi delle murature

Si hanno moti rigidi quando le strutture murarie abbandonano la loro posizione primitiva senza cambiare di forma e sono rappresentati mediante

le componenti vettoriali delle traslazioni secondo una terna di assi cartesiani e delle rotazioni rispetto agli assi stessi. Le varie componenti del moto rigido in genere coesistono. Il moto rigido altera lo stato tensionale nelle strutture murarie e nelle fondazioni per gli spostamenti dei carichi rispetto alle sezioni resistenti (Defez, 1983).

3.3.2. Lesioni

Nelle masse murarie perturbate, il regime degli sforzi interni subisce delle graduali variazioni dovute all'avvicinarsi dei successivi stati di equilibrio nel progredire del dissesto e, contemporaneamente, dei processi di contrazione e dilatazione del materiale, variabili da punto a punto. Se durante queste variazioni in un punto del solido la dilatazione supera i limiti della tolleranza alla coesione del materiale, in quel punto si stabilisce una soluzione di continuità che si propaga, fino ad apparire in superficie sotto forma di fessurazione. Si stabilisce così, la *fase di originaria rottura* (Mastrodicasa, 1993).

La lesione è, come già detto, la manifestazione esteriore percepibile e permanente del dissesto statico che l'ha provocata. Percepibile, poiché è sempre possibile (anche se non sempre facile) rilevarla ed osservarla; permanente, perché il processo che ha condotto alla sua formazione non potrà mai, in nessun caso, invertirsi spontaneamente.

Le lesioni possono apparire sotto forma di deformazioni oppure di fessurazioni o, infine di deformazioni e di fessurazioni coesistenti nello stesso organismo murario (Mastrodicasa, 1993).

Si parla di lesioni di deformazione della muratura quando a seguito dell'insorgere di stati tensionali anomali, questa subisce un cambiamento di forma. Tale condizione si verifica ove si abbia ad esempio un cedimento di tipo fondazionale con un conseguente spostamento relativo tra le varie parti della struttura muraria. Il cambiamento di forma della struttura muraria può manifestarsi con una inflessione di pilastri e colonne, oppure, per murature continue, può aversi una deformazione sia nel proprio piano, che fuori dal piano, con uno schiacciamento della parete.

Le lesioni di fessurazione nella struttura muraria si manifestano con delle soluzioni di continuità nella massa per rottura del materiale murario, e cioè

con uno spostamento relativo di punti del materiale originariamente continuo.

Le lesioni murarie nelle fasi precedenti a quella di originaria rottura, sono compatibili con la continuità della massa che, prima di rompersi, subisce delle deformazioni elastiche e plastiche. Le fessurazioni si presentano nelle fasi deformative più progredite (Mastrodicasa, 1993).

Il modo in cui si evolve la deformazione plastica, il modo in cui l'originaria soluzione di continuità si propaga nell'intorno del punto fino alla superficie, la forma che essa assume sulla superficie stessa, l'andamento e l'ampiezza delle fessurazioni, variano a seconda del tipo di perturbamento che ha provocato la deformazione plastica o la fase di originaria rottura. Ne consegue che così come ogni effetto è legato alla sua causa da una relazione di interdipendenza, la lesione (effetto) e il dissesto (causa) sono sempre legati da un nesso estremamente rigoroso. Si può perciò affermare che:

- a) un dissesto provoca sempre una lesione, di deformazione o di fessurazione: in caso contrario non si può parlare di dissesto;
- b) un certo tipo di dissesto provoca solo un corrispondente tipo di lesione, la quale è quindi "caratteristica" solo di quel dissesto e non di un altro;
- c) un certo tipo di lesione può essere stata generata solo dal dissesto corrispondente.

Si può perciò concludere che noto l'aspetto della lesione caratteristica di un certo dissesto, rilevandola su di un solido murario si può risalire automaticamente al dissesto che l'ha provocata (quell'unico possibile) (Zevi, 2002).

Le lesioni nascono per effetto di stati tensionali che la struttura muraria non è in grado di sopportare e possono raggrupparsi in diverse classi:

- a) lesioni di trazione;
- b) lesioni di schiacciamento;
- c) lesioni di presso-flessione;
- d) lesioni causate da archi e volte (Defez, 1983).

L'apparizione delle fessurazioni succede però agli stadi iniziali non fessurati, in maniera diversa a seconda del carattere del perturbamento. Tal volta l'apparizione delle fessurazioni è immediata, pure trattandosi di dissesti di lieve entità, altre volte indugia notevolmente, fino a quando le

membrature che ne sono sede, versano tutte in condizioni del tutto precarie (Mastrodicasa, 1993).

3.3.2.1. Lesioni di trazione

Le lesioni di trazione si verificano in quelle parti della muratura ove si desta una tensione di trazione, tensione alla quale la muratura non è in grado di resistere. La tensione di trazione può essere conseguenza di uno sforzo normale di compressione ove il centro di pressione sia fuori dal nocciolo; ne sono un esempio classico le lesioni in chiave degli archi o nei piedritti sottoposti a spinte eccessive rispetto ai carichi assiali visibili in figura 2.2 (Defez, 1983).

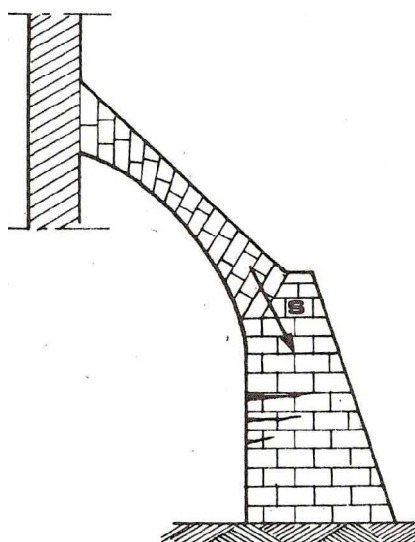


Fig. 2.2: Lesioni provocate da tensioni di trazione nei piedritti (Defez, 1983).

La tensione di trazione può anche essere considerata una conseguenza di una tensione tangenziale sorta per effetto di uno scorrimento relativo generatosi nella muratura a seguito di cedimenti differenziali. Queste lesioni hanno un andamento inclinato di circa 45° , poiché la muratura viene sottoposta ad uno sforzo tagliante come si può notare in figura 2.3.

La lesione può inoltre, essere prodotta da uno spostamento relativo tra due elementi murari dovuto ad un cedimento traslativo di fondazione. Ad esempio come mostra la figura 2.4, l'elemento A trasla rispetto a quello B in direzione orizzontale per effetto di uno scorrimento della fondazione, nelle sezioni verticali sul vano A-B nascono tensioni di trazione orizzontali e, di

conseguenza, lesioni di trazione pressoché verticali, senza variazione di ampiezza lungo la lesione stessa.

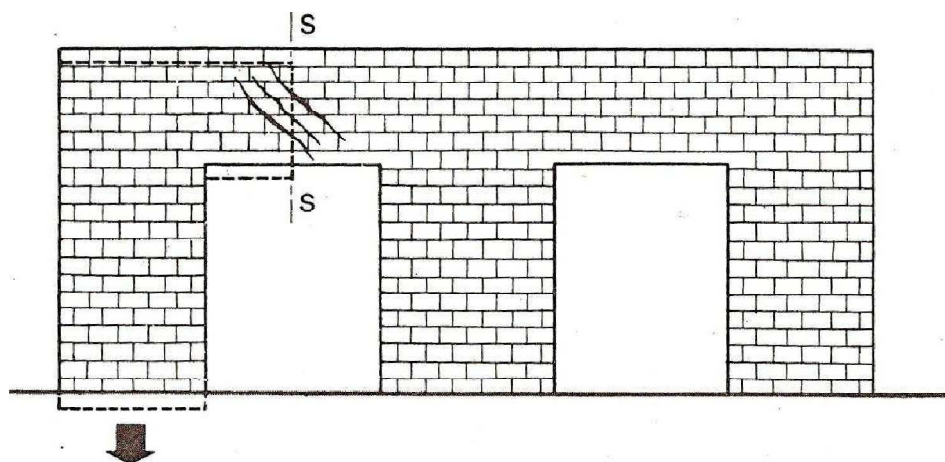


Fig. 2.3: Lesioni provocate da tensioni di trazione conseguenti a cedimenti differenziali delle fondazioni (Defez, 1983).

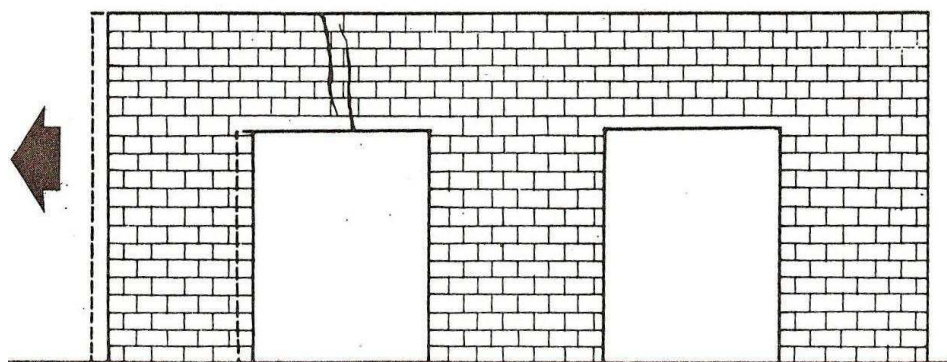


Fig. 2.4: Lesioni provocate da tensioni di trazione conseguenti a cedimenti di traslazione orizzontale delle fondazioni (Defez, 1983).

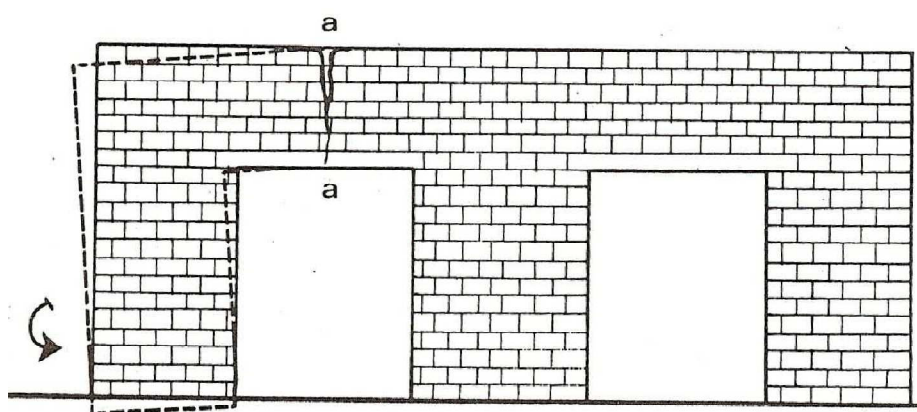


Fig. 2.5: Lesioni provocate da tensioni di trazione conseguenti a cedimenti di rotazione delle fondazioni (Defez, 1983).

Le lesioni di trazione possono destarsi anche per un cedimento rotazionale di fondazione che tenda a far ruotare, ad esempio nella figura 2.5, un elemento murario A rispetto all'elemento B. Nella sezione a-a sul vano A-B si destano in tale caso tensioni di trazione normali al moto e che si oppongono a questo: nascono lesioni con andamento pressoché verticale e con ampiezza crescente dal basso verso l'alto (Defez, 1983).

3.3.2.2. Lesioni di schiacciamento

Un solido sottoposto a compressione assiale, subisce una contrazione nella direzione del carico e una dilatazione nelle direzioni normali. Se la dilatazione trasversale supera le capacità coesive del solido, questo si spezza lungo la superficie di frattura disposte nella direzione della forza disturbatrice. Lo schiacciamento è il dissesto più pericoloso perché il solido si risolve attraverso le fratture in elementi astiformi sempre più snelli e perciò sempre più cedevoli sotto il carico di punta (Mastrodicasa, 1993).

È per questo motivo che le lesioni caratteristiche premonitrici dello schiacciamento devono essere individuate con estrema sollecitudine e grande senso di responsabilità, intervenendo tempestivamente per interrompere la dinamica del dissesto fin dalla sua maturazione

Le lesioni di schiacciamento sono il fenomeno conseguente ad una tensione di compressione eccessiva per la resistenza della muratura interessata, e si presentano con lacerazioni ad andamento all'incirca parallelo alle tensioni stesse che possono essere accompagnate da fenomeni di rigonfiamento in stadio più avanzato del fenomeno.

Lo schiacciamento nelle strutture murarie si sviluppa secondo tre stadi come mostra la figura 2.6:

- *Il primo stadio* è caratterizzato dal superamento della resistenza alla coesione dei giunti orizzontali della malta, se meno resistente del materiale lapideo o laterizio. I giunti sottoposti al carico si riducono nello spessore e l'intonaco subisce un accorciamento con conseguenti espulsioni paramentali. Le murature nelle quali la malta è più resistente del materiale laterizio e lapideo passano direttamente al 2° stadio dello schiacciamento.
- *Nel secondo stadio*, La malta nei giunti orizzontali è completamente disgregata, lo spessore degli stessi è estremamente ridotto. Gli elementi

lapidei o laterizi presentano fratture di lieve o lievissima entità, multiple e parallele, tutte disposte nella direzione del carico: il loro insieme è definito “pleiade fessurativa”, e costituisce la forma fessurativa caratteristica dello schiacciamento. La lieve entità delle fessurazioni troppo spesso trae in inganno inducendo ad ottimistiche conclusioni; in assenza di tempestivo intervento il dissesto evolve verso il terzo stadio, molto temibile poiché spesso induce al crollo con grande rapidità

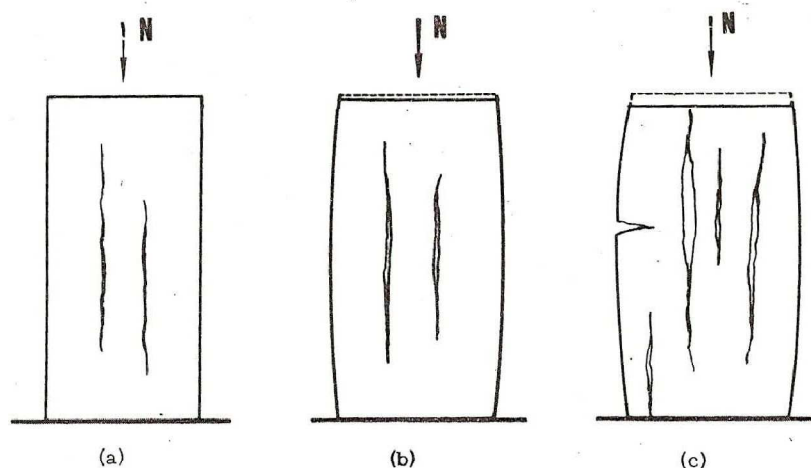


Fig. 2.6: Le tre fasi dello schiacciamento a) primo stadio b) secondo stadio c) terzo stadio (Defez, 1983).

– Nel terzo stadio, il più pericoloso che non indulge a ritardi nell’adozione dei provvedimenti. La pleiade fessurativa del secondo stadio si unifica in fratture di notevole estensione, queste col moltiplicarsi delle fratture, unite alla possibile formazione di fratture orizzontali preludono al crollo del sistema murario. La porzione muraria, svincolata da quelle adiacenti in virtù della lesione formatasi viene espulsa generando così una riduzione della sezione reagente ed un conseguente incremento della tensione di compressione (Il solido murario si risolve in elementi caricati di punta tutti a momento d’inerzia sempre minore). Il fenomeno evolve così sempre più rapidamente: formazione della lesione, distacco ed espulsione del materiale esterno ad essa, riduzione della sezione reagente, incremento della tensione su di essa; e così via fino al crollo (Zevi, 2002)

Le cause capaci di produrre un dissesto di schiacciamento sono, in generale:

– riduzione fisiologica del carico di rottura caratteristico del materiale (vetustà);

- deficienza della sezione reagente, per errore progettuale o per asportazioni successive alla costruzione;
- incremento del carico di progetto, a sua volta causato o dalla presenza di precedenti dissesti o da interventi indiscriminati che hanno provocato una trasmigrazione di carichi (Zevi, 2002)



Fig. 2.7: *formazione della pleiade fessurativa in stadio avanzato (terzo stadio)*
(Zevi, 2002)

Schiacciamento per carichi concentrati

I carichi concentrati inducono un fenomeno di schiacciamento con caratteristiche molto diverse per gli elementi murari e per i pilastri.

Il carico localizzato sopra ad un setto murario, nella direzione longitudinale provoca lesioni nella sommità dell'elemento, subito sotto al punto di applicazione della forza. Le fessure assumono l'andamento delle isostatiche di pressione, infatti nelle zone superiori immediatamente sottostanti al contorno compresso hanno convessità rivolta verso la mezzeria del muro ed allontanandosi dall'area sollecitata, si assottigliano gradualmente come si vede nella figura 2.8a. Nella direzione trasversale del muro, invece, si forma una frattura nel piano medio (fig.2.8b), localizzata nelle regioni immediatamente sottostanti al carico; tale lesione è spesso evidenziata dal rigonfiamento paramentale caratteristico della pressoflessione e l'ingobbamento da inflessione si trova di poco al di sotto del ciglio superiore del muro (Mastrodicasa, 1993).

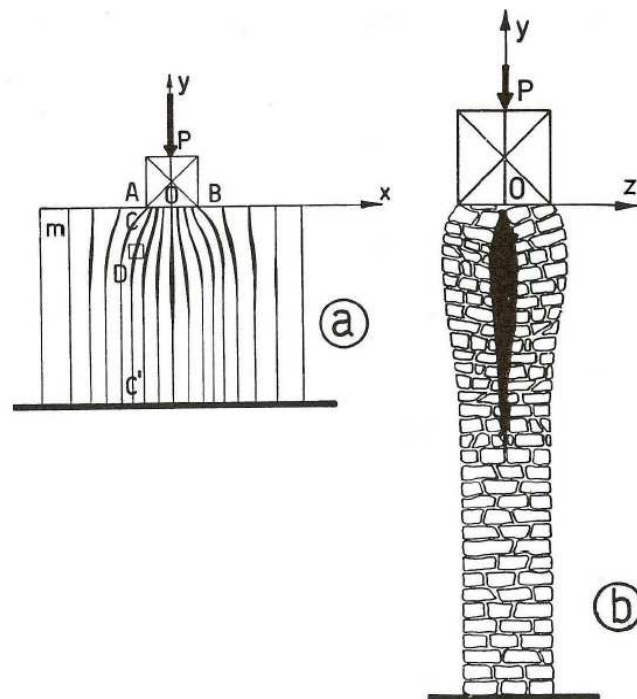


Fig. 2.8: Schiacciamento per carichi concentrati su un setto murario: andamento
a) andamento della fessurazione in direzione longitudinale b) fessurazione in
direzione trasversale (Mastrodicasa, 1993).

I dissesti per schiacciamento dei pilastri sono più gravi di quelli dei muri continui perché quest'ultimi possono, a differenza degli altri, trarre sollievo, almeno in un direzione, dalla collaborazione delle regioni murarie contigue non ancora toccate dal dissesto.

Nei pilastri monolitici, fatti cioè di un unico pezzo di pietra, le fratture da schiacciamento prediligono le superfici interne verticali o inclinate di minor resistenza come le regioni con maggiori discontinuità della massa.

Nel pilastri in muratura, le lesioni prediligono il tipo prismatico con fratture verticali a superficie di rottura variamente orientate, accertabili, in superficie dalle caratteristiche fessurazioni verticali, discontinue, alterne. Queste fratture nelle ultime fasi si raccolgono in forme prismatiche o iperboloidi che dirette col la minaccia di espulsione di ampie falde superficiali di materiale. Col progredire del cedimento anche le murature interne sono investite e il processo distruttivo volge velocemente verso gli stadi più precari.



Fig. 2.9: *Schiacciamento di un maschi basale con fratture iperboloidiche dirette (Mastrodicasa, 1993).*

Schiacciamento dovuto al peso proprio

Lo schiacciamento prodotto dal peso proprio dei muri, predilige le regioni inferiori dove maggiore è lo sforzo e si manifesta con fessure di carattere prismatico o iperboloidico diretto (figura 2.10). Nei paramenti murari si individuano linee di frattura multiple o saltuarie nella direzione del carico, le quali aumentano l'ampiezza e l'estensione, ma mantengono inalterata la molteplicità che ne caratterizza la fase iniziale, anche quando tendono a raggrupparsi attorno a linee dove le manifestazioni sono più intense. Solo in fasi di degrado avanzato, la pleiade fessurativa va ad unificarsi lungo linee uniche preludendo fasi di precaria stabilità. Le espulsioni di materia paramentale, caratteristica dello schiacciamento hanno quasi sempre il carattere della rottura iperboloidica diretta e rappresentano la fase più pericolosa (Mastrodicasa, 1993).

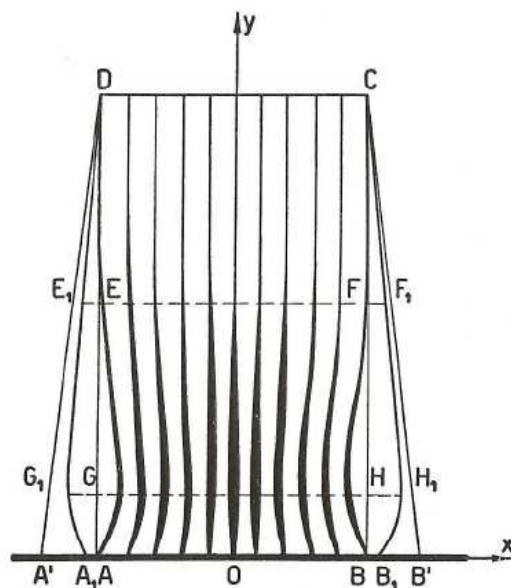


Fig. 2.10: Deformazione di un setto murario soggetto a schiacciamento dovuto al peso proprio e andamento delle lesioni al piede (Mastrodicasa, 1993).

3.3.2.3. Lesioni di presso-flessione

La lesione caratteristica del dissesto di pressoflessione si manifesta visivamente sottoforma di deformazione. La principale causa perturbatrice capace d'indurre questo dissesto è l'eterogeneità dei moduli elastici che caratterizzano i materiali costituenti la muratura; essa determina infatti un'eccentricità dell'asse meccanico della membratura rispetto a quello geometrico, anche nel caso in cui quest'ultimo sia perfettamente verticale.

La pressoflessione delle strutture murarie di fabbrica è caratterizzata dallo smembramento della compagine in due o più tronchi verticali separati da superficie di discontinuità irregolari con andamento medio parallelo ai paramenti. Per effetto di questo dissesto i paramenti subiscono una inflessione concorde o discorde secondo che le frecce d'incurvamento abbiano lo stesso senso o senso contrario (fig. 2.11).

Nelle murature ordinarie di fabbrica si stabilisce, in genere, una sola superficie interna di discontinuità. Solo nei muri di grosso spessore le superfici di discontinuità sono più di una e il prisma murario si risolve in più di due elementi. La flessione iniziale comincia sempre dal paramento più resistente. I dissesti di presso-flessione si manifestano con rigonfiamenti paramentali riconoscibili traguardando i paramenti (Mastrodicasa, 1993).

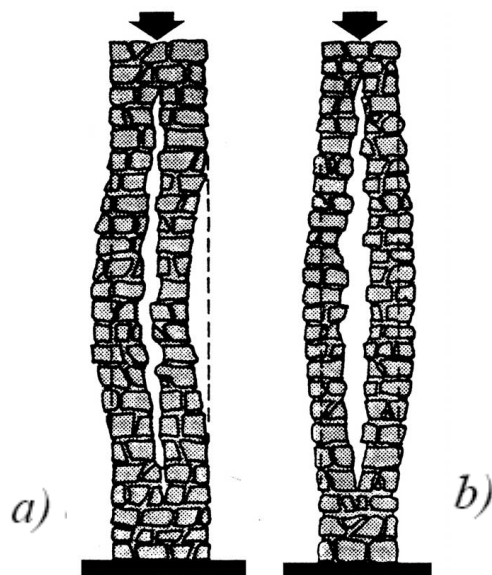


Fig. 2.11: Dissesti di pressoflessione nei setti murari a) paramento con inflessione concorde b) paramento con inflessione discorde (Zevi, 2002).

3.3.2.4. Lesioni dovute al dissesto di spinta

Al pari della pressoflessione la lesione caratteristica del dissesto di spinta si manifesta visivamente sottoforma di deformazione. La causa perturbatrice che induce questo dissesto è sempre la presenza di una sollecitazione avente una componente orizzontale; tale sollecitazione può essere esercitata:

- da un arco, da una volta o da una trave ad asse inclinato nei confronti degli appoggi, quando non esistono catene (o quando, pur esistendo, hanno perso efficacia);
- da una massa incoerente nei confronti di una parete contenitrice (Zevi, 2002)

Lesioni causate da archi e volte

La componente orizzontale della spinta degli archi e delle volte contro i muri di fabbrica può essere normale o parallela ai paramenti. Se la spinta è normale ai paramenti, il muro subisce dei moti rotatori e delle inflessioni sensibili verso l'esterno con il massimo rigonfiamento, posto un po' al di sopra del centro di spinta. Il ventre di inflessione si stabilisce al di sopra del centro di spinta, come nel caso della trave doppiamente incastrata o appoggiata agli estremi e sollecitata da un carico concentrato a distanza dalla

mezzeria (fig. 2.12). La presenza di porte o finestre perturba il processo de
formativo, ma non ne altera la fisionomia (Mastrodicasa, 1993).

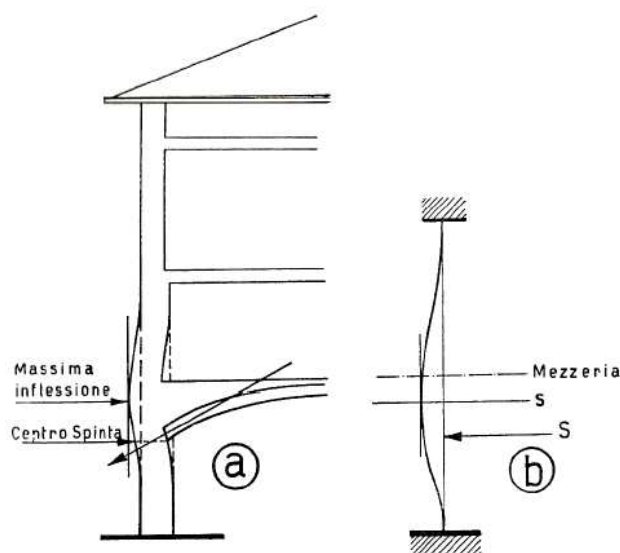


Fig. 2.12: Dissesti prodotto dalla spinta di archi e volte: a) deformazione del paramento sottoposto alla spinta b) schema statico della trave doppiamente incastrata soggetta a carico non centrato in mezzeria (Mastrodicasa, 1993).

Nell'ambito della zona deformata, in stadio avanzato del dissesto, l'andamento delle fessure è analogo a quello della pressoflessione, ma aggravato dalla flessione e dal taglio della spinta. La figura 2.13 mostra la sezione orizzontale del rigonfiamento nel piano orizzontale per il centro di spinta, si nota che, mentre in A per l'assenza del taglio, la frattura giace nel piano verticale normale al paramento, in B e C le fratture assumono un'inclinazione divergente dalla mezzeria.

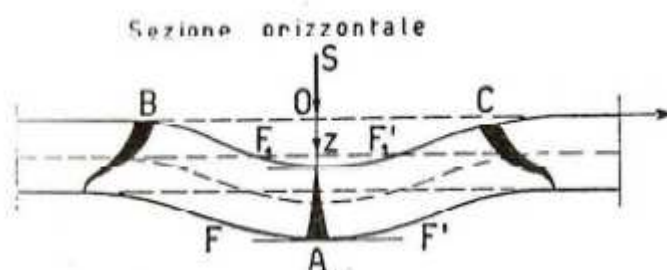


Fig. 2.13: Fessurazione che si genera nel paramento sottoposto alla spinta nella sezione orizzontale del muro (Mastrodicasa, 1993).

Nel piano verticale (fig. 2.14) per il centro di spinta le due fratture al taglio hanno caratteristiche analoghe a quelle anzidette, ma i rami, specialmente quello inferiore, sono raddrizzati sulla verticale per l'azione combinata del peso del muro e del taglio.

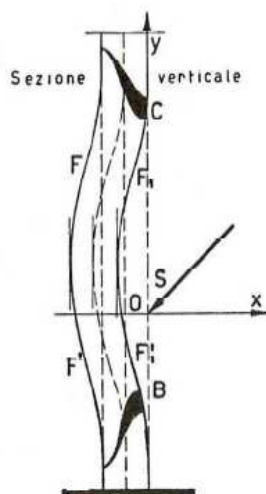


Fig. 2.14: Fessurazione che si genera nel paramento sottoposto alla spinta nella sezione verticale del muro (Mastrodicasa, 1993).

Nella regione paramentale inflessa, gli andamenti fessurativi sono analoghi a quelli della presso flessione. Questi stati fessurativi e deformativi si stabiliscono sotto le spinte localizzate da peducci di volte a crociera, di cosciali, di diagonali di tetti, e talvolta, dio capriate a spinta non efficacemente neutralizzata.

Le volte a botte, a padiglione, a vela, a schifo non stabiliscono centri di spinta, ma regioni più o meno estese lungo le quali la spinta è esercitata.

I dissesti dovuti alla spinta normale ai paramenti, sono accompagnati da manifestazioni secondarie:

- *Distacchi delle strutture interne dal muro di facciata;*

Insorgono con l'inizio del moto, distacchi dal muro di facciata inflesso dei solai, delle volte, dei pavimenti e dei muri. Nei pavimenti le fessurazioni si creano nelle intersezioni con i muri. Nelle volte a crociera e a botte, le fessurazioni in forma di netti distacchi, si stabiliscono all'innesto con il muro stesso (fig. 2.15). In quelle a crociera, in particolare, invadono le costole e si propagano nelle falde. Nelle volte a padiglione, a vela e a schifo

i distacchi si verificano in genere, nelle adiacenze dell'intersezione col muro inflesso (Mastrodicasa, 1993).



Fig. 2.15: Manifestazione secondaria del dissesto di spinta: distacco fra la membratura inflessa e le strutture spingenti (nella zona in cui non si trasmette la spinta)(Zevi, 2002).

– Espulsione del materiale esterno;

L'area deformata del muro interessato dal dissesto in fase avanzata è delimitata da una superficie di frattura la cui ampiezza è maggiore verso l'interno; il materiale circoscritto dalla frattura tende ad essere espulso verso l'esterno e presenta allentamenti nella zona del ventre deformativo (fig. 2.16) (Zevi, 2002).

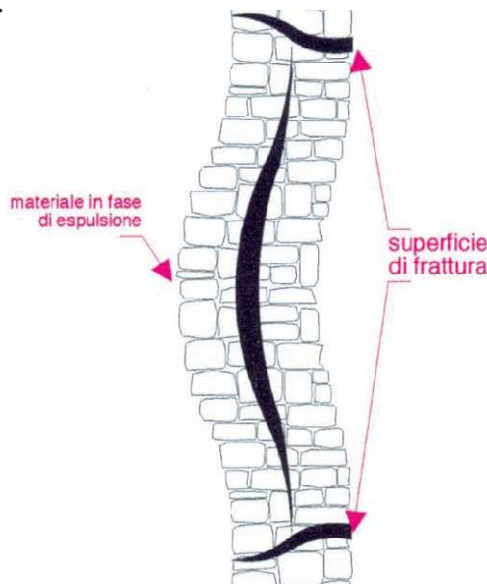


Fig. 2.16: Manifestazione secondaria del dissesto di spinta: formazione di una superficie di frattura(caratteristica degli stadi avanzati del dissesto) che circoscrive la massa muraria in fase di espulsione (Zevi, 2002).

– *Deformazione rombica delle aperture;*

Si produce nelle aperture di porte dei muri normali alla fronte inflessa, poste in prossimità di questa (figura 2.17). Nelle regioni inferiori al ventre dell'inflessione la deformazione tende a trasferire l'architrave verso la fronte inflessa; nelle superiori a trasferirvi la base. Le fessurazioni del muro normale a quello frontale inflesso prediligono le masse dell'architrave e della soglia che hanno minore resistenza (Mastrodicasa, 1993).



Fig. 2.17: *Manifestazione secondaria del dissesto di spinta: deformazione rombica dei setti ortogonali alla membratura inflessa (Zevi, 2002).*

– *Depressione delle volte.*

È frequente nelle volte a crociera e insorge sempre in quelle a vela, a schifo e a padiglione; è invece piuttosto rara nelle falde delle volte a botte con le generatrici normali alla fronte inflessa. Queste depressioni sono spesso tali da invertire la curvatura intradossale (figura 2.18). Si stabilisce perciò una vera e propria deformazione di pressoflessione nella regione interessata dalla volta non scevra da pericolo (Mastrodicasa, 1993).

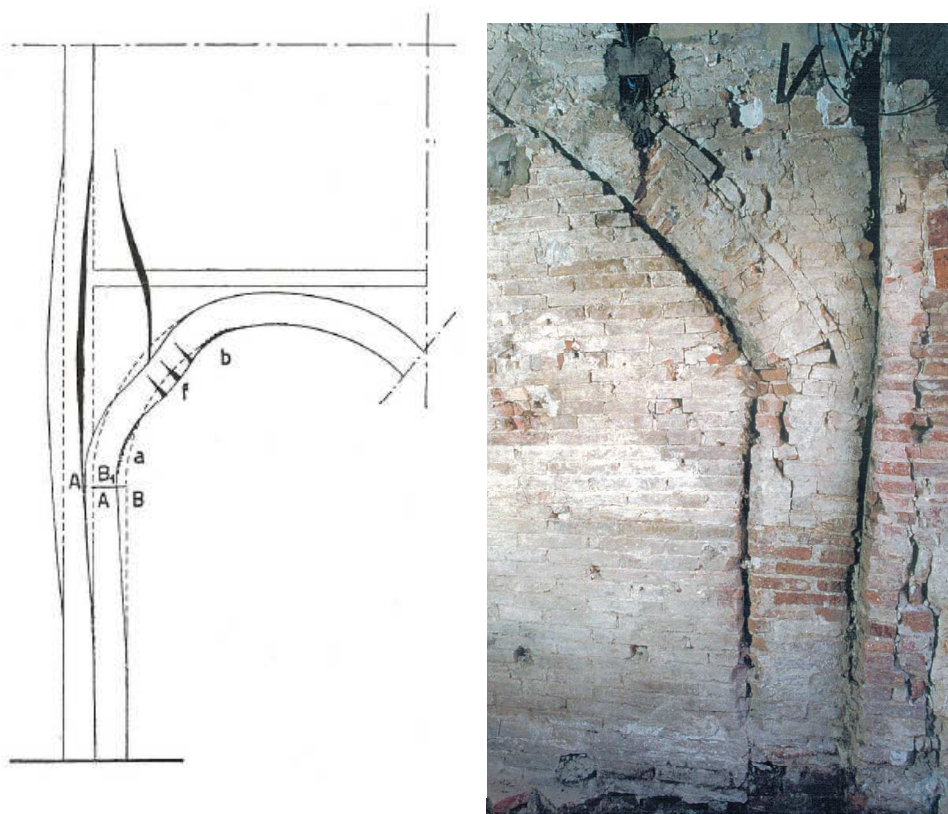


Fig. 2.18: Manifestazione secondaria del dissesto: fessurazione causata dalla depressione delle volte (Zevi, 2002).

3.3.3. Progressione delle lesioni

Le lesioni sono un fenomeno che si evolve e pertanto vanno collocate nel tempo e nello spazio e deve essere seguita la loro evoluzione per comprendere il fenomeno da cui provengono (Defez, 1983).

Se la progressione è nulla il moto è estinto e il complesso, attraverso il cedimento, ha trovato la sua posizione di quiete. Se la progressione non è nulla, il sistema è indotto in moti ulteriori, con incrementi fessurativi e deformativi, nella ricerca di nuove condizioni d'equilibrio. La progressione del moto può essere ritardata, costante o accelerata.

La progressione ritardata è caratterizzata da manifestazioni che tendono a estinguersi per lo stabilirsi di una situazione di equilibrio definitivo.

La progressione accelerata è caratterizzata dall'accentuarsi delle manifestazioni di fessurazione nel tempo che inducono il solido verso stati d'equilibrio sempre più precari.

Nella progressione costante si assiste ad un uniforme sviluppo, nel tempo, delle manifestazioni di fessurazione che si risolvono o in moti di progressione ritardata o accelerata (Mastrodicasa, 1993)

Di una lesione occorre misurarne l'ampiezza in vari punti, con strumenti ad aghi calibrati, o nella maggior parte dei casi, con decimetri.

La progressione, nel tempo, dell'ampiezza della fessura può essere controllata mediante l'ausilio di opportune spie "biffe" (fig. 2.19), traverse di malta foggiate a doppia coda di rondine con sezione minima corrispondente alla fessurazione, che vengono posizionate in corrispondenza delle sezioni di maggiore ampiezza della lesione dette "ventri" della sezione (Defez,1993).

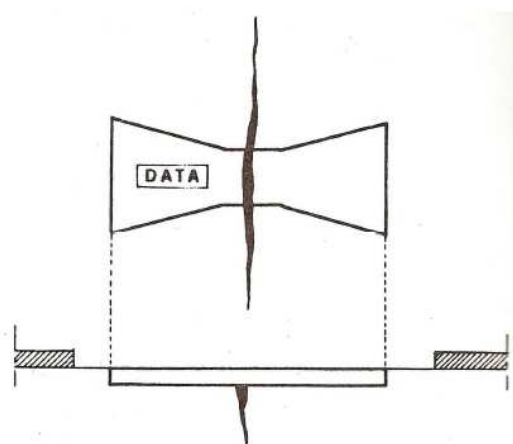


Fig. 2.19: Rappresentazione di una biffa di malta su una lesione da monitorare (Mastrodicasa, 1993).

L'applicazione delle spie di malta si effettua praticando un incasso a forma di trapezio da ciascun lato della lesione, con il lato più corto dalla parte della lesione, per la profondità di 1cm nello spessore della muratura e per una lunghezza di una decina di centimetri da ciascun lato. Si lava e si spazzola l'apertura così da poter assicurare l'adesione della malta o del gesso direttamente con la struttura muraria. Si scrive infine, a lato della spia, la data di apposizione. Effettuando periodici controlli si potrà osservare l'evoluzione della lesione che può manifestarsi con avanzamento dei punti di cuspidi e con aumento dell'ampiezza fino alla rottura della biffa. Si segneranno con la relativa data, i nuovi punti di cuspidi e si potranno misurare con gli aghicalibrati l'ampiezza della frattura della biffa.

Fessurazioni recenti e non recenti

È importante, e abbastanza immediato riconoscere le fessurazioni nuove da quelle vecchie. Le nuove presentano una frattura chiara, fresca, quasi

brillante, priva di polvere e ciglia taglienti ben contornate. Le vecchie presentano invece, frattura annerite dal tempo, polverose e ciglia arrotondate e, spesso frammenti di ragnatele. Studiando le caratteristiche delle fratture è possibile stabilire la loro cronologia, ma non è possibile determinare l'epoca d'inizio del processo fessurativo, poiché l'invecchiamento dipende dalle numerose condizioni ambientali.

3.3.4. Dissesti apparenti

Nell'intonaco si riscontrano spesso delle fessurazioni reticolari a maglie più o meno ampie nei cui vertici concorrono tre rami di carattere prevalentemente rettilineo. Queste lesioni, che si presentano sulla superficie degli intonaci, si definiscono apparenti quando non interessino le condizioni statiche delle murature rivestite. Esse derivano dalla contrazione dell'intonaco durante l'asciugamento, la presa l'indurimento o a seguito di infiltrazioni di umidità (Mastrodicasa, 1993).

Il fenomeno del ritiro comporta una diminuzione del volume dell'intonaco che è ostacolato nel suo moto, della muratura a cui aderisce. Nascono di conseguenza degli sforzi di trazione nell'intonaco che, superata la relativa resistenza, provocano delle cavillature. Solo asportando l'intonaco è perciò possibile constatare l'integrità della muratura sottostante (Defez, 1983).

Un ulteriore esempio di lesione apparente si può riscontrare in un muro di tamponamento inserito in tempi successivi alla ultimazione della costruzione. Col passare del tempo, saranno sempre più evidenti le lesioni lungo il contorno del vano dovute al semplice riassetto della muratura. Al fine di escludere la pericolosità di tali fessurazioni, sarà sufficiente individuare lo schema statico della costruzione (Defez, 1983).

Un altro caso di lesione apparente è quella che può riscontrarsi nei bordi dei fori, realizzati in passato, nei setti murari per posizionare travi, scaffali o ponteggi e che venivano riempiti in un secondo momento con pietre e malta, creando così una zona di minore resistenza nella muratura, facilmente interessata dai fenomeni fessurativi (Defez, 1983).

3.4. Il quadro fessurativo e la diagnosi del dissesto

Per poter interpretare il linguaggio delle lesioni che investono un edificio è necessario averne una visione contemporanea d'insieme. Occorre riportare a

tal fine, sui prospetti il rilievo delle fessure indicando con dei segni grafici convenzionali i vari tipi di dissesti: in modo da stabilire delle logiche connessioni tra le varie lesioni. Tale rappresentazione grafica delle lesioni prende il nome di “quadro fessurativo” (Defez, 1983).

La realizzazione del quadro fessurativo (come previsto dalla direttiva del 29 gennaio 2001, recante le linee guida per l'applicazione del DPCM del 12 ottobre 2007) è un passaggio fondamentale della fase diagnostica, consiste nella sovrapposizione dei dati raccolti durante la campagna d'indagini agli elaborati di rilievo: su di essi si riporterà la localizzazione delle lesioni di deformazione e di fessurazione, le loro caratteristiche, l'età e la rapidità di evoluzione (fig 2.20). Si ottiene in tal modo un “quadro clinico” completo e dettagliato dell'organismo edilizio, che rappresenta la base di partenza per la fase conclusiva dell'attività diagnostica: l'identificazione dei dissesti, la ricerca e l'individuazione delle cause perturbatrici (Zevi, 2002).

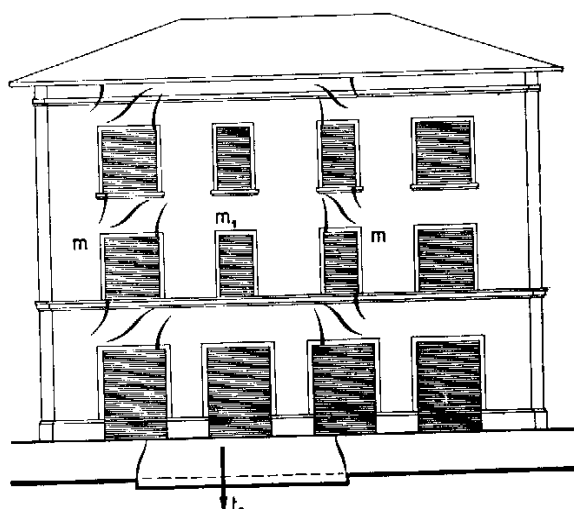


Fig. 2.20: Esempio di rappresentazione di un quadro fessurativo su di un prospetto di un edificio (<http://www.anvvfy.org/Dispense.it>).

Come già detto nei precedenti paragrafi, l'interpretazione delle lesioni può consentire la comprensione dello stato di danno della struttura e le sue possibili cause; può inoltre condizionare la scelta del tipo di indagine da eseguire successivamente sulla struttura e la localizzazione di prove più dettagliate. È perciò evidente l'importanza fondamentale che assume il rilievo del quadro fessurativo per l'identificazione dell'assetto strutturale dell'edificio. Un'accurata ispezione del quadro fessurativo può fornire

un'indicazione dei percorsi degli sforzi all'interno della struttura. In alcuni è casi è possibile studiare ed interpretare gli stati di danno per analogia dei quadri fessurativi con i casi noti (Mastrodicasa, 1993).

All'interno del quadro fessurativo è possibile distinguere fessure "passanti", oppure superficiali, da difetti presenti nell'intonaco, senza rilevanza statica.

Lo studio del quadro fessurativo deve essere correlato con un efficiente campagna di monitoraggio dell'evoluzione della fessurazione, per fornire un quadro conoscitivo dell'edificio completo, al fine di progettare al meglio gli eventuali interventi di consolidamento necessari per la messa in sicurezza della costruzione.

Per formulare la diagnosi dei dissesti è importante attenersi alle conoscenze acquisite mediante la ricerca storica delle sollecitazioni a cui è stato sottoposto l'edificio il rilievo geometrico e il rilievo del quadro fessurativo.

Sono inoltre, fattori di fondamentale importanza, le caratteristiche del terreno, le tecniche costruttive utilizzate, e la tipologia della struttura portante. La prima fase prevede l'esame dei possibili dissesti fondali, i dissesti interni delle strutture, e l'eventuale presenza di dissesti misti.

Considerando tutti i dati raccolti, si può formulare una prima ipotesi per determinare le relazioni possibili di tali dissesti con le manifestazioni deformative e fessurative rilevate. Se la concordanza è perfetta, allora le ipotesi sul dissesto sono attendibili e altrettanto valida sarà la diagnosi.

Se alcune manifestazioni non concordano con l'ipotesi fatta, o sono riscontrabili solo in parte, è necessario stabilire la coesistenza del dissesto presunto con un altro che giustifichi le discordanze. Verrà così formulata una seconda ipotesi, di cui sarà controllata l'aderenza con le manifestazioni osservate e si procederà nello stesso modo, per successive approssimazioni, fino al conseguimento di risultati attendibili coi dati rilevati (Mastrodicasa, 1993).

CAPITOLO QUARTO

IL RILIEVO DEL QUADRO FESSURATIVO NEL PALAZZO DELLA PROVINCIA

Il rilevamento visivo del quadro fessurativo e deformativo è il mezzo attraverso il quale si realizza una conoscenza adeguata ed accurata dell'oggetto studiato. In particolare, per questo lavoro è stato eseguito il rilievo in questione su una porzione del Palazzo Malvezzi de' Medici, oggi sede dell'Amministrazione Provinciale.

Lo studio del quadro fessurativo ha interessato le facciate esterne dell'edificio, ovvero quelle su piazza Rossini e su via Zamboni, e all'interno, si è scelto di rilevare esclusivamente il corpo che si estende lungo la via Zamboni. Sono stati esaminati i quattro piani fuori terra, l'interrato dell'edificio, e la facciata del cortile interno appartenente alla porzione dell'edificio che si affaccia su via Zamboni.

Per avere una visuale completa della parte dell'edificio che si è scelto di ispezionare, sono state realizzate due sezioni longitudinali parallele a via Zamboni (una verso la strada e l'altra opposta ad essa), due sezioni trasversali che interessano la "Sala Ovale" (anch'esse opposte tra di loro) e una sezione parallela alla strada passante per il cortile interno.

Il rilievo del quadro fessurativo è stato realizzato seguendo una precisa procedura operativa e con il supporto di una strumentazione semplice, ma fondamentale. Nella fase preliminare del rilievo è stata effettuata un'attenta ispezione visuale degli elementi strutturali dell'edificio, aiutandosi, dove necessario, con un binocolo. Questa operazione ha consentito di acquisire informazioni generali sullo stato di danno dell'edificio e di focalizzare i punti principali su cui effettuare il rilievo.

Al fine di eseguire un lavoro preciso, attendibile e per creare opportuni riferimenti, la rilevazione delle fessure in sito è stata effettuata con l'aiuto di un supporto grafico costituito da piante, prospetti e sezioni senza una precisa scala, ma cercando di ottenere elaborati con un buon grado di specificità.

Per operare più agevolmente sul posto si sono adoperati esclusivamente fogli di carta in formato A3 e si è scelto di riportare le piante di ogni piano e

le sezioni longitudinali dell'edificio su due fogli di questo formato. I prospetti delle facciate esterne e la sezione passante per il cortile interno sono stati suddivisi in tre fogli A3, infine ogni sezione trasversale è stata riportata su un unico foglio di questo formato.

Sui fogli di cantiere sono state indicate le fessure individuate distinguendole in base alla loro ampiezza e gravità, con colori differenti: il viola è stato utilizzato per fessure gravi, il celeste per fessure medie, e il rosa per fessure lievi e le cavillature. È stata effettuata un'ulteriore differenziazione di gravità e quindi di colore, per le fessure ristilate con malta: rosso per le fessure gravi, blu per le fessure medie e verde per quelle più lievi. Questa duplice differenziazione si è resa necessaria data la presenza esclusiva, nelle facciate esterne, di fessure stilate; al fine di riportare un quadro del rilievo esterno che fosse il più possibile vicino alla realtà, osservando le dimensioni gli andamenti e le posizioni delle fessure, si è cercato di assegnare un grado di gravità differente anche alle fessure stilate. Con campiture a matita ed annotazioni a bordo pagina sono state evidenziate le zone di maggior degrado e le mancanze o lacune di elementi architettonici, come cornicioni e capitelli.

Operativamente il rilievo è stato eseguito partendo dalle facciate esterne; la facciata di piazza Rossini è stata divisa in tre strisce comprendenti in orizzontale ognuna tre campate e in verticale quattro ordini di finestre (secondo lo schema degli elaborati grafici), si è partiti dal lato della piazza che confina con via Zamboni, osservando dall'alto verso il basso, fino ad arrivare al lato opposto. Per il prospetto su via Zamboni è stato scelto un altro modo di operare poiché la strada in quel punto è estremamente stretta, e risulta perciò impossibile effettuare un rilievo visuale dalla strada. Sono state effettuate delle foto dalle finestre del palazzo di fronte la facciata interessata e, nonostante la posizione sfavorevole delle finestre, è stato ricostruito un prospetto fotografico dal quale si è cercato di individuare le fessure.

Per l'interno, si è partiti dal piano interrato fino al quarto piano fuori terra, ispezionando ogni stanza e riportando le fessure nelle piante e nelle sezioni e nel prospetto interno del cortile; in particolare nelle piante si è scelto di

disegnare con linee continue le fessure appartenenti al pavimento e con linee spezzate quelle individuate nei soffitti.

In seconda fase l'intero quadro fessurativo disegnato a mano è stato restituito in CAD utilizzando layer differenti per riportare la classificazione scelta delle fessure.

Nelle figure 4.1 e 4.2 sono riportati due esempi di foglio di cantiere con rilievo delle lesioni e degli elementi utilizzati come riferimento spaziale.

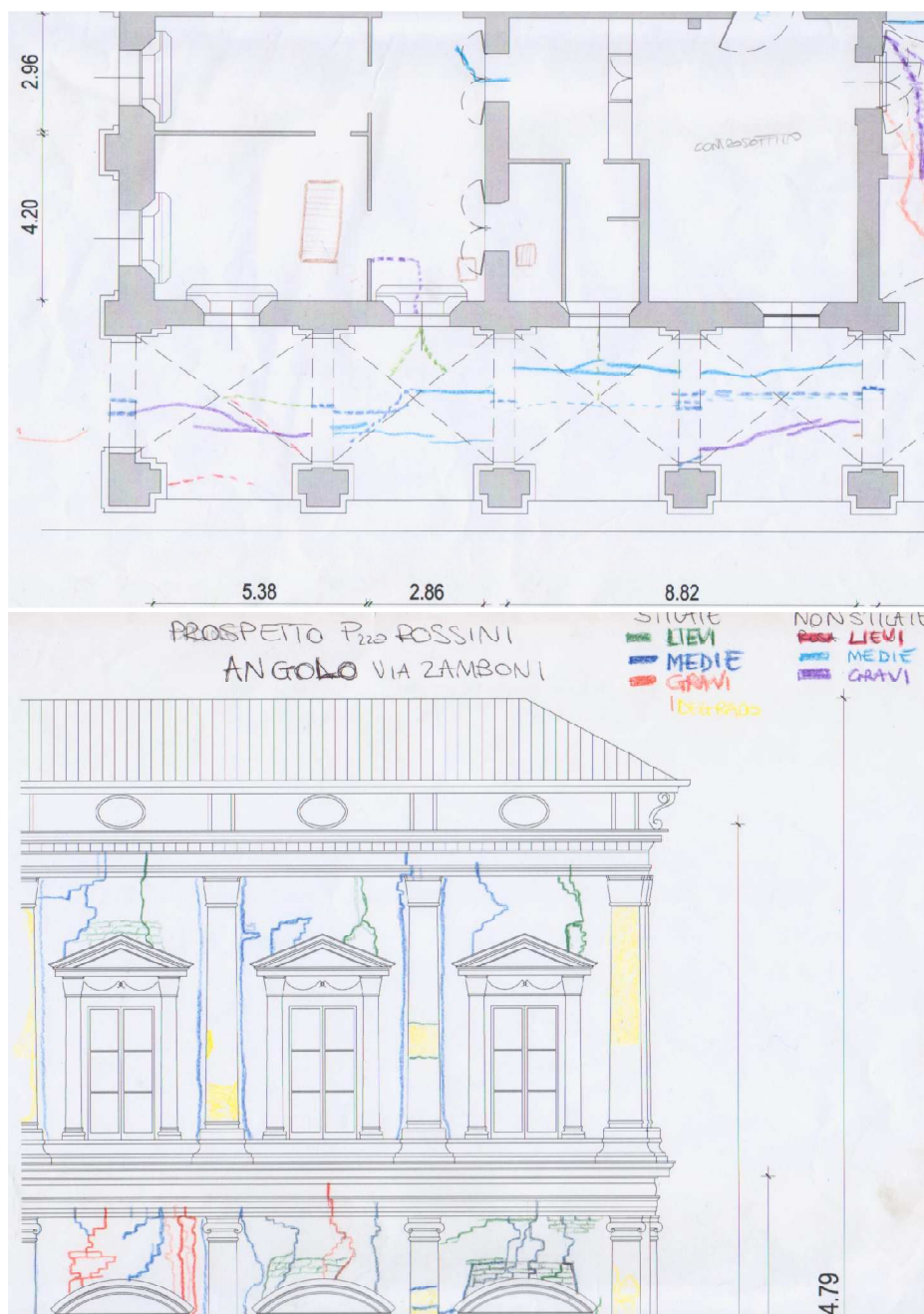


Fig. 4.1e 4.2: Pianta piano terra, angolo piazza Rossini Via Zamboni (sopra),
prospetto piazza Rossini angolo via Zamboni (sotto), esempio di foglio di
cantiere.

4.1. La facciata su piazza Rossini

In figura 4.3 è stata riportata una foto ricostruita con Photoshop della facciata del palazzo su piazza Rossini il più possibile conforme con la realtà, con i riferimenti alle zone citate nel testo qui di seguito e con riferimento al rilievo fotografico svolto in sito, dove è stato possibile.

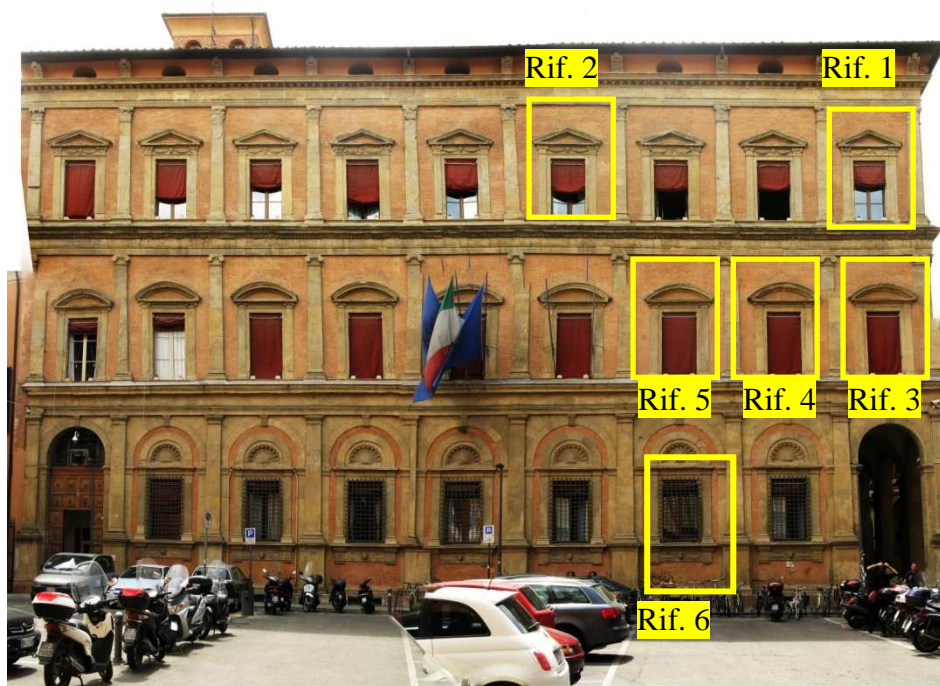


Fig. 4.3: Ricostruzione della facciata su piazza Rossini del Palazzo della Provincia.

La facciata in esame è stata restaurata negli anni '90, presenta perciò delle fessure evidentemente ristilate con malta cementizia.

Le fessure sono visibili maggiormente nella parte alta delle finestre del primo e del secondo piano, e in particolare le campate più investite dai dissesti sono le prime cinque partendo dall'angolo con via Zamboni, anche se al primo piano non mancano manifestazioni fessurative di una certa gravità anche nelle ultime quattro finestre a sinistra della foto. Si sceglie di esaminare alcune tra le finestre maggiormente fessurate indicate dai riferimenti 1, 2, 3, 4, 5 e 6 nella figura 4.3.

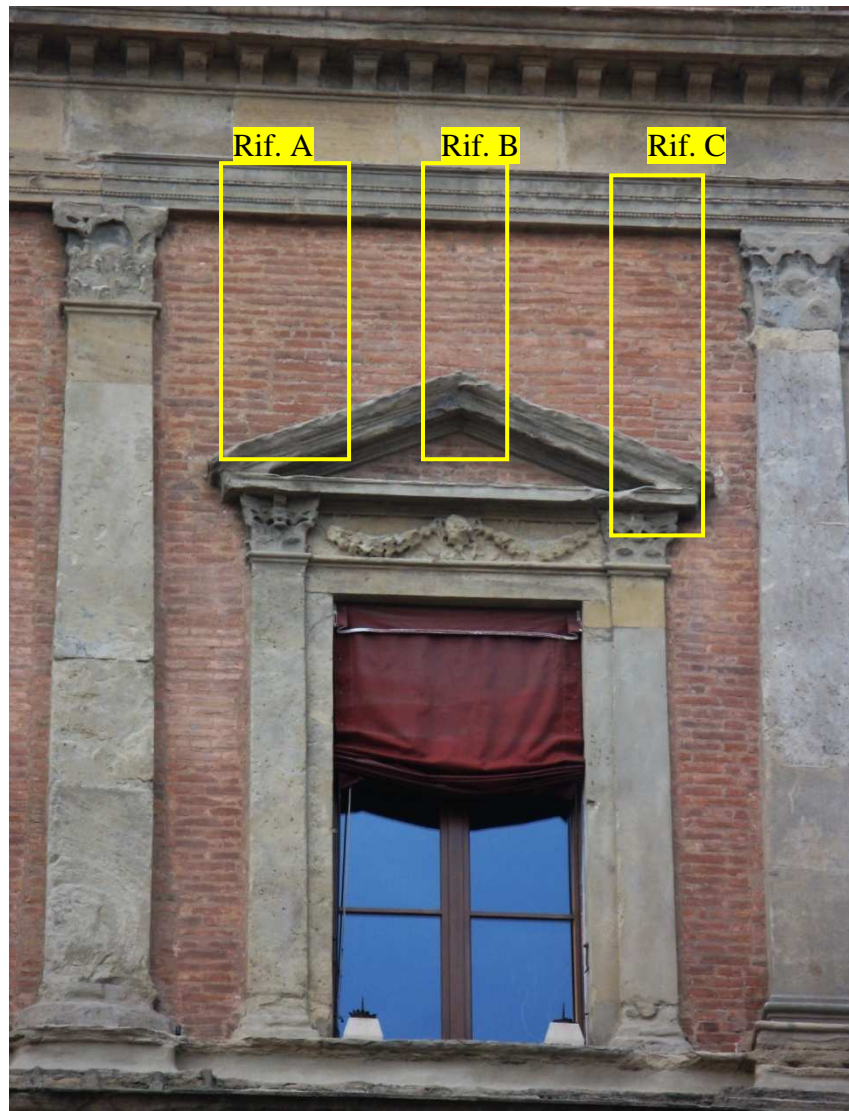


Fig. 4.4: Particolare con Rif. 1 della figura 4.3

Partendo dal piano superiore, nella fig. 4.4, è visibile a sinistra della finestra il giunto nella cornice da cui parte una fessura (rif. A) che si dirige diagonalmente verso destra, cambia direzione in prossimità della mezzzeria del capitello corinzio della lesena grande, si muove verso sinistra per poi diventare verticale per un tratto di circa sei corsi e nell'ultimo tratto raggiunge il capitello attraversando i giunti di malta dei mattoni. Al centro della campata (rif. B), dal giunto centrale diparte una fessura che arriva circa in verticale sul vertice in sommità del capitello.

A destra della figura (rif. C) dalla cornice di pietra, parte una fessura che si dirama, all'altezza dell'estremità inferiore del capitello corinzio grande in due bracci pressoché verticali che arrivano parallelamente sul timpano.

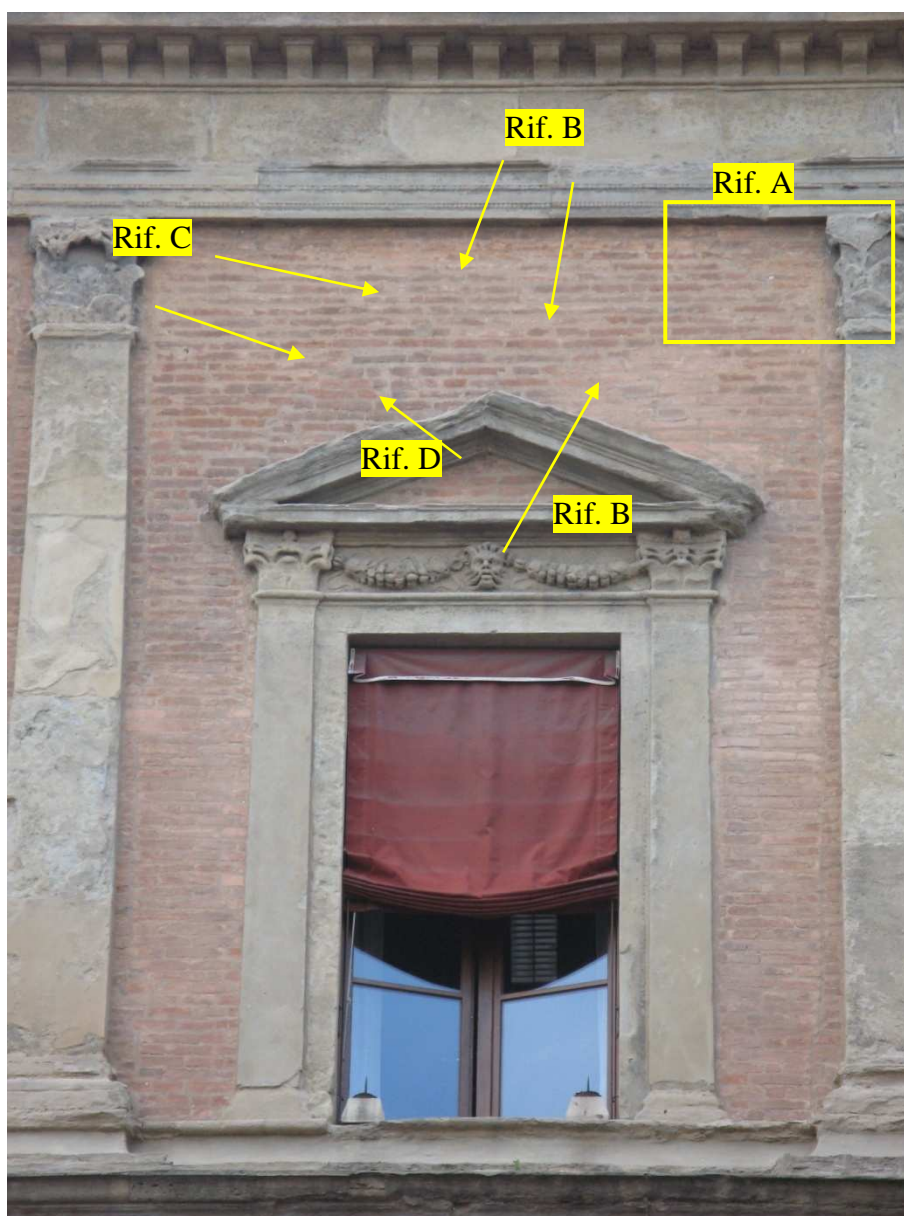


Fig. 4.5: Particolare con Rif.2 della figura 4.3

Nella figura 4.5 nell'angolo in alto a destra (rif. A) è visibile una fessura che partendo dalla destra del giunto prima del capitello corinzio, taglia diagonalmente la muratura arrivando sulla colonna sotto l'estremità inferiore del capitello. Spostandoci a sinistra del timpano, dall'alto sotto la cornice, si nota (rif. B) una fessura che si dirige verso destra, in prossimità del vertice del timpano prosegue orizzontalmente per un piccolo tratto, per poi seguire i giunti di malta fino ad incontrare il lato destro obliquo del timpano. Subito a sinistra del centro, (rif. C) si apre una fessura, che procede diagonalmente fino all'estremo a sinistra del capitello. Subito sotto

l'estremità inferiore del capitello, si dirama in un braccio (rif. D) che arriva a metà del lato sinistro del capitello.

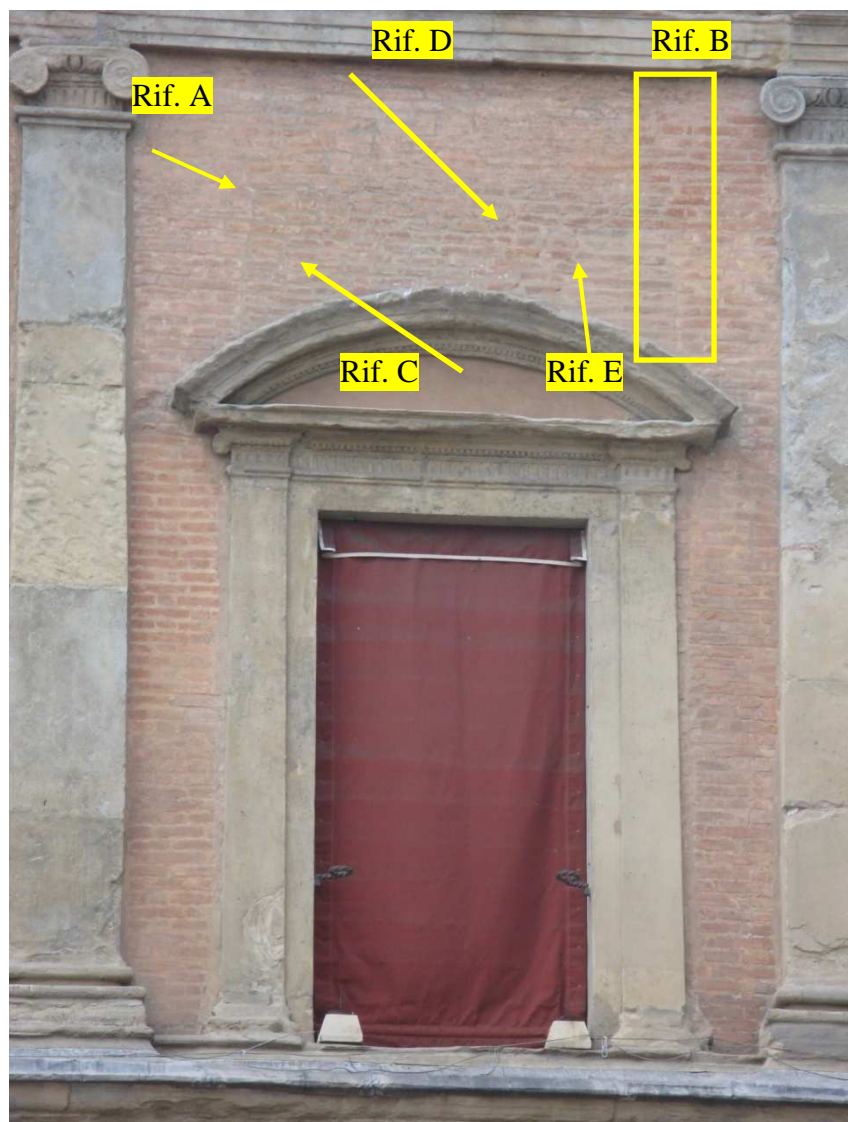


Fig. 4.6: Particolare con Rif.3 della figura 4.3

Nella figura 4.6 si notano cinque fessure principali stilate; a sinistra della finestra (rif. A) dalla cornice superiore, si apre una lesione che procede linearmente in verticale fino al frontone curvilineo nell'estremità a sinistra, a destra di questa, osservando la cornice superiore, si nota un'altra fessura che procede per un tratto in verticale per poi virare verso sinistra e arrivare fino al frontone curvilineo diagonalmente seguendo i giunti di malta o spezzando il mattone (rif. C). In maniera piuttosto simmetrica a destra della finestra (rif. B) un'altra fessura partendo dalla cornice raggiunge il frontone

muovendosi verticalmente. Sempre a destra della finestra una fessura partendo dalla cornice procede verticalmente e raggiunge il frontone al centro spostandosi dalla verticale, in diagonale verso sinistra (rif. D). Alla destra di quest'ultima, si apre un'altra fessura (rif. E) che procedendo per un primo tratto verso destra, si sposta a sinistra per poi raggiungere il frontone. Nella parte superiore al timpano, sono presenti delle cavillature ristilate.

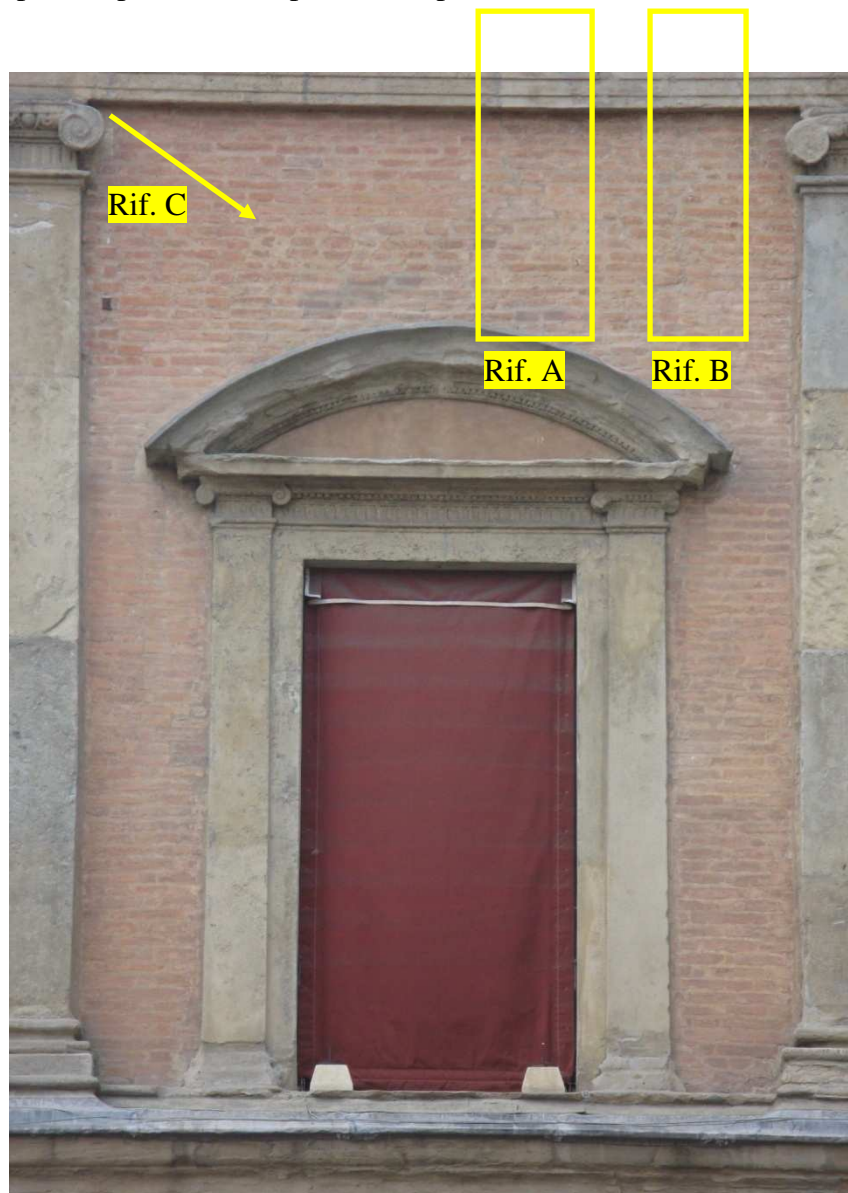


Fig. 4.7: Particolare con Rif.4 della figura 4.3

Nella figura 4.7 si individua una fessura di maggiore gravità (rif. A) che dalla sommità partendo da un giunto allargato tra due conci della cornice superiore e procedendo tra i giunti dei mattoni per un piccolo tratto, si dirama in due bracci che si allargano, per poi riavvicinarsi in prossimità del

frontone della finestra. Alla destra di questa (rif. B), una fessura di media gravità, partendo da un giunto tra due pietre stilato, arriva fino al timpano con andamento verticale. Della stessa entità è la fessura a sinistra nella foto (rif. C) che taglia diagonalmente la porzione superiore della finestra, da sinistra verso destra nella parte alta per poi cambiare direzione e procedere verso sinistra fino ad incontrare il frontone. Anche in questa finestra come nella precedente, la parte sopra il frontone è intervallata da cavillature, ed è visibile nonostante il restauro, un degrado del materiale.



Fig. 4.8: Particolare con Rif.5 della figura 4.3

Nella figura 4.8 si notano in alto a sinistra, due giunti dei conci appartenenti alla cornice aperti e stilati (rif. A), da qui partono due fessure che confluiscono in un'unica che arriva orizzontalmente fino al frontone

curvilineo. Nella parte destra della figura (rif. B) da un unico giunto sulla cornice dipartono due fessure, una, più a sinistra del riquadro arriva verticalmente sul frontone, l'altra passa all'estremità e arriva diagonalmente fino alla lesena della finestra, sotto il capitello dorico. Dal giunto a sinistra di quello del rif. B, si apre una fessura (rif. C) di gravità inferiore alle precedenti, che procede verticalmente per un breve tratto, e in prossimità dell'estremità inferiore del capitello della lesena più grande a destra, si dirige diagonalmente verso il centro del capitello.

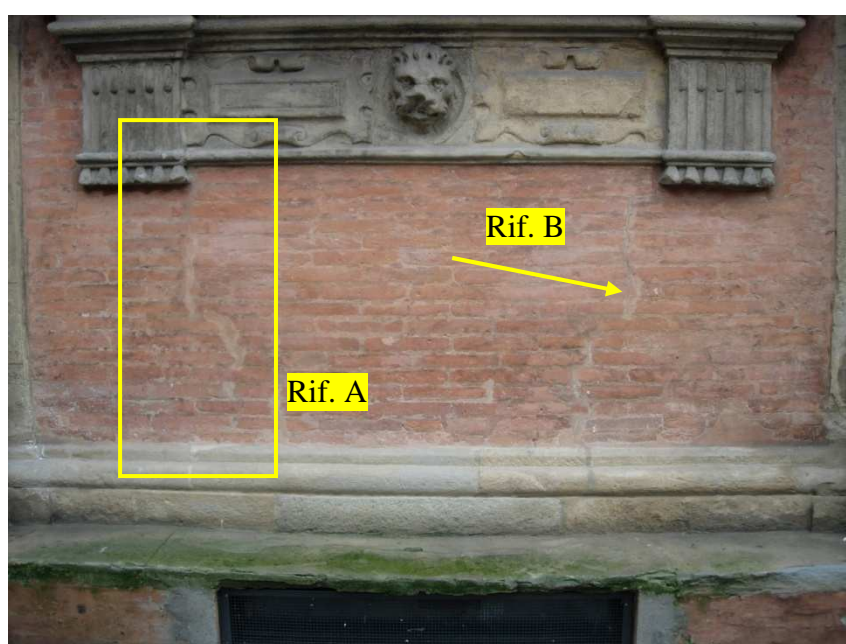


Fig. 4.9: Particolare con Rif.6 della figura 4.3

Nella foto 4.9 è si messa in risalto la porzione sottostante l'arco cieco della facciata, e si nota che sotto il davanzale della finestra (rif. 6 fig 4.3) in prossimità delle lesene più sporgenti, si diramano due fessure fino alla cornice marcapiano sottostante, nella fessura a destra (rif. B) la lesione arriva fino al giunto di pietra che si nota essere allargato.

Infine in figura 4.10 è mostrato il rilievo fessurativo completo rilevato in sito e restituito in CAD.

4.2 La facciata su via Zamboni

In figura 4.2.1, è stata riportata un disegno del prospetto su via Zamboni dell'edificio, poiché impossibile realizzare una fotografia completa della facciata.

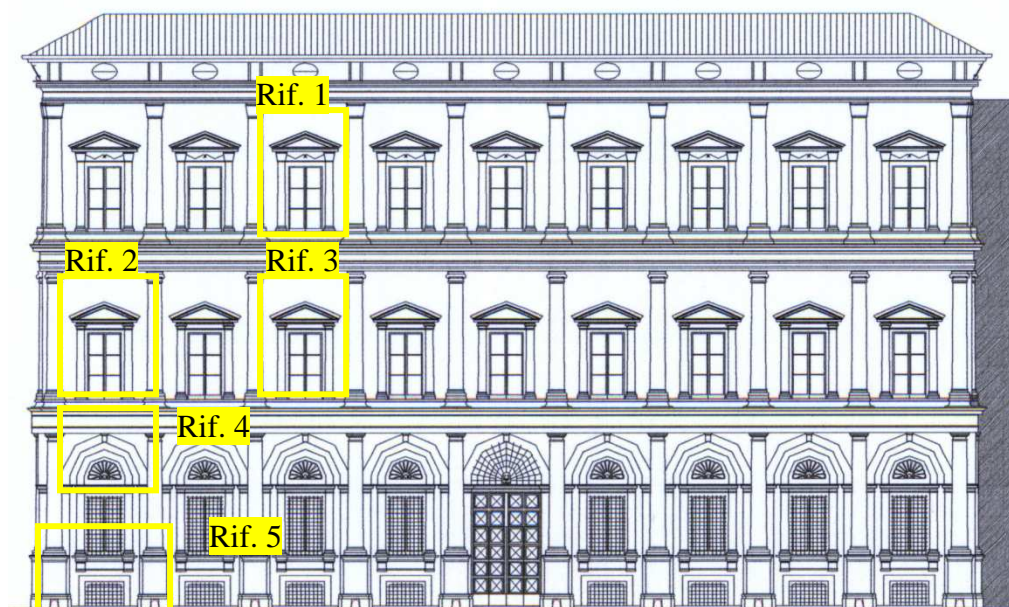


Fig. 4.1.2.: Prospetto dell'edificio su via Zamboni.

Nella figura 4.1.3. si nota subito a sinistra tra la finestra e la lesena della parete, una fessura che procede dritta fino all'altezza del timpano, e poi assume un andamento a zig zag sulla parete (Rif. A); più che una lesione da dissesto, la fessura potrebbe essere stata determinata da successivi ammorsamenti della muratura, durante la costruzione della facciata.

Procedendo verso destra, si nota sulla cornice superiore che il giunto tra il secondo e il terzo concio è ristilato, da lì, parte una fessura (Rif. B) che procede dritta per un tratto, per poi arrivare in diagonale, seguendo i giunti di malta all'estremità a sinistra del timpano. Nel centro della cornice, si apre un altro giunto, anch'esso stilato, da qui parte una fessura (Rif. C) che attraversa in diagonale la parete quasi parallelamente al timpano e si arresta alla sua estremità a destra. Congiunge poi, la cornice e la lesena della parete a destra della finestra, una fessura di media gravità che si arresta alla base del capitello corinzio della lesena (rif. D).

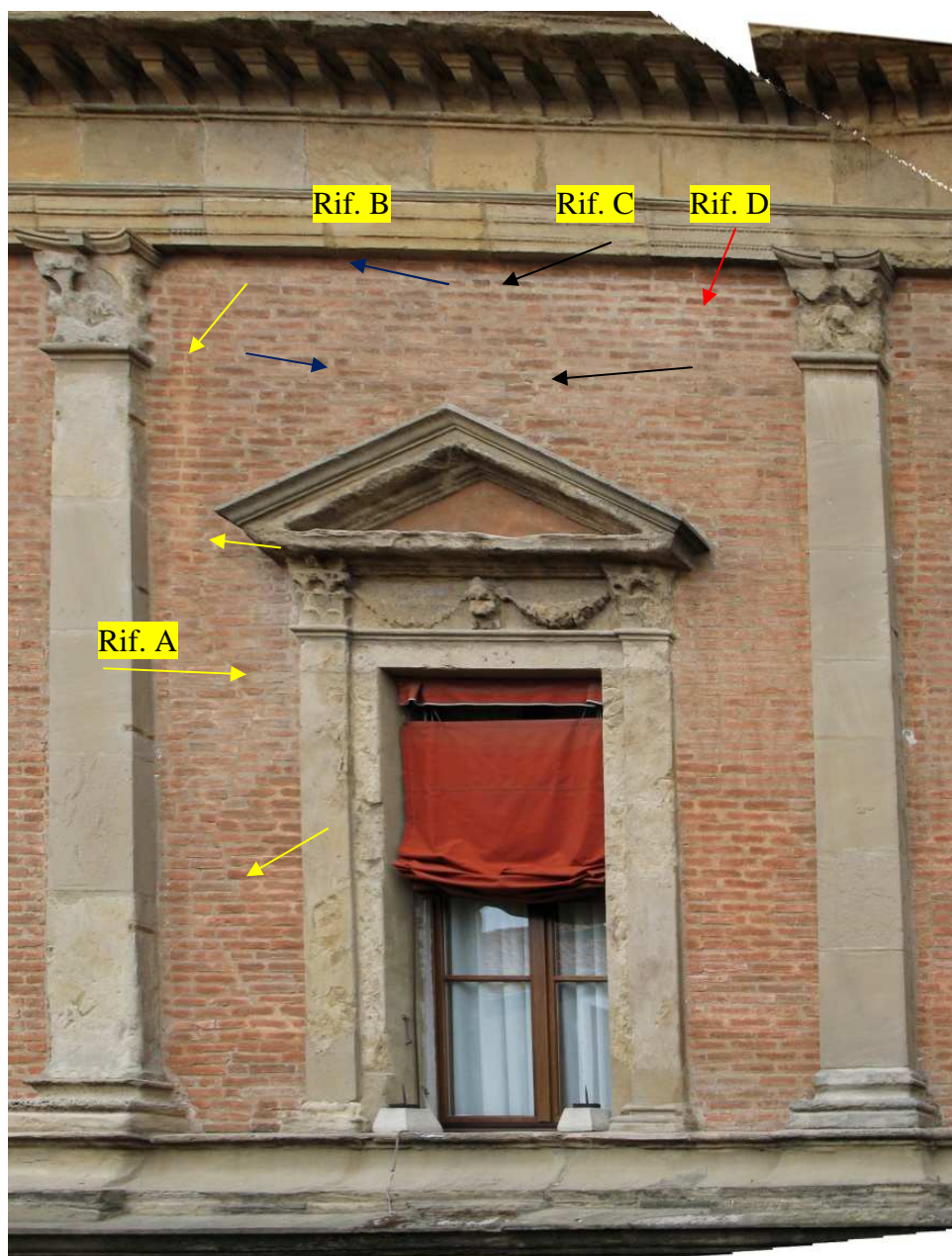


Fig. 4.1.3.: Particolare (Rif. 1) della fig. 4.1.2

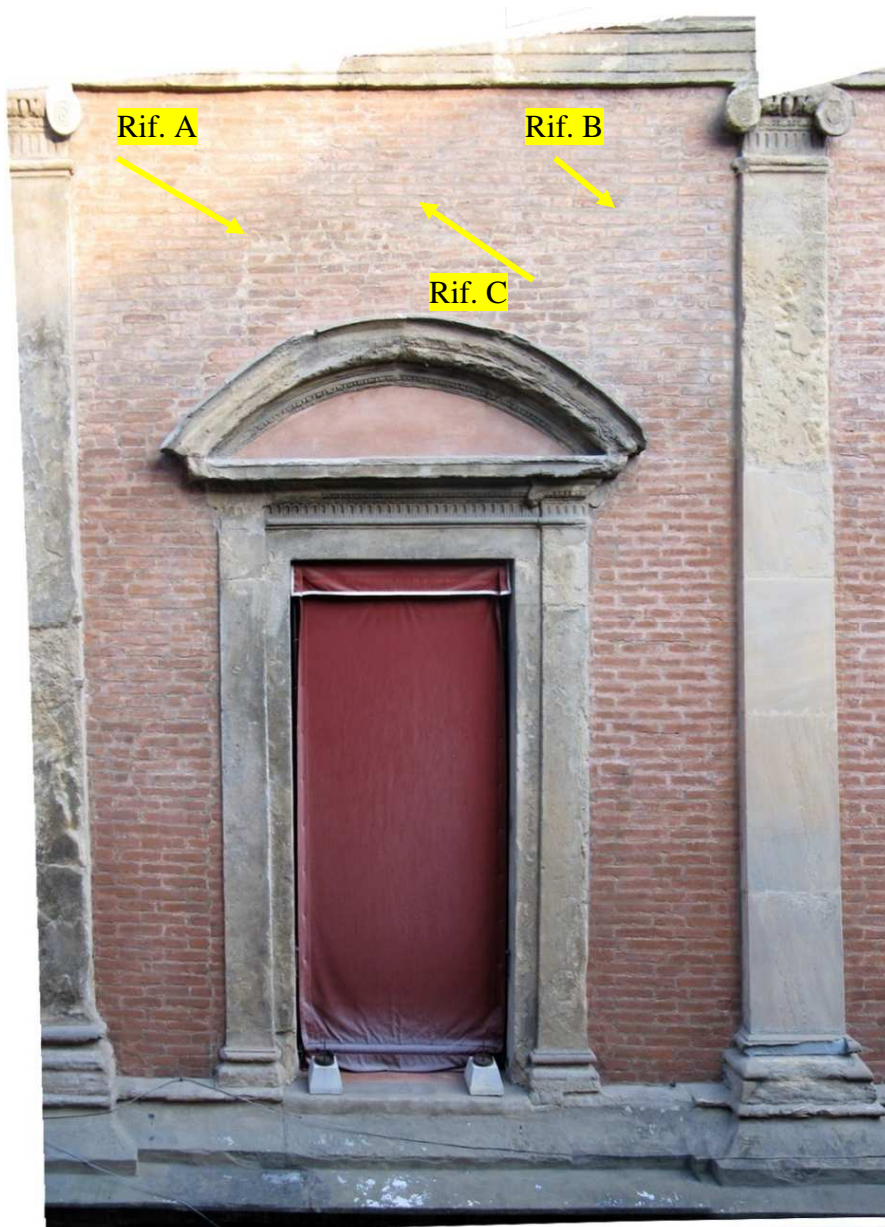


Fig. 4.1.4.: Particolare (Rif. 2) della figura 4.1.2.

La figura 4.1.4 mostra che a sinistra della finestra c'è una fessura diagonale (Rif. A), che partendo a poco a sinistra del centro della cornice arriva fino all'estremità di sinistra del frontone curvilineo. Si nota un degrado del materiale su tutta la muratura superiore al frontone. A destra del frontone scende una fessura verticale (Rif. B), a metà della parete, si sposta a sinistra, per poi arrivare verticale sul frontone. Poco a destra del centro, scende una lesione che in diagonale raggiunge il frontone (Rif. C).

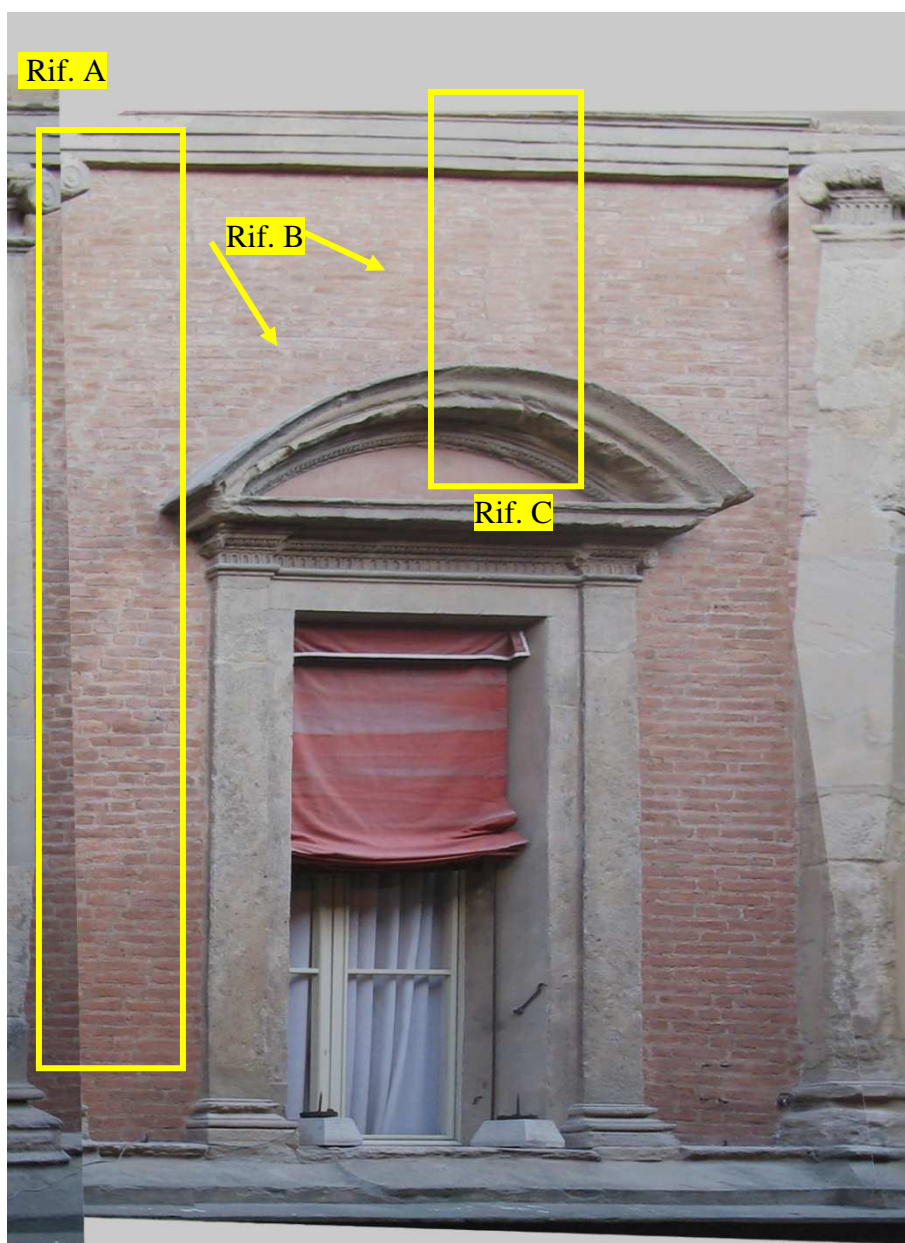


Fig. 4.1.5.: Parrticolare (Rif. 3) della figura 4.1.2.

In figura 4.1.5. si nota a sinistra della finestra una fessura che taglia a zig zag la porzione diparete, compresa tra la lesena grande e la finestra (Rif. A). La forte somiglianza dell'andamento della fessura al caso di fig. 4.1.3 fa presumere concretamente che si tratti di una modalità costruttiva e non di una manifestazione di dissesto. A destra di questa, si nota un'altra lesione, che dal centro della cornice (Rif. B), arriva in diagonale all'estremità sinistra del frontone. Infine a destra della foto si nota un giunto di due conci di pietra da cui si ramificano due fessure che arrivano parallele sul frontone (Rif. C).



Fig. 4.1.6.: *Particolare (Rif. 4) della figura 4.1.2*

In figura 4.1.6. si nota la lesione sulla cornice che arriva fino al concio in chiave del primo arco del portico di via Zamboni. La fessura dall'alto a sinistra sotto lo stipite sinistro della finestra procede in diagonale verso il centro per poi raggiungere, verticalmente la chiave dell'arco.



Fig. 4.1.7.: *Particolare (Rif. 5) della figura 4.1.2.*

Nella figura 4.1.7 è rappresentata la prima finestra su via Zamboni (da Piazza Rossini) da cui si può vedere il sotterrano. La cornice della finestra presenta una grossa fessura poco a sinistra del centro.

4.3. Il piano interrato

Nella sala che comprende le prime tre finestre di piazza Rossini e la prima di via Zamboni sono presenti sulle volte, numerose lesioni. Altrettanto non può dirsi per il pavimento che invece non risulta fessurato.

Nel pilastro d'angolo che congiunge i due esterni, una lesione di grave entità congiunge le due finestre delle pareti adiacenti, mentre un'altra partendo dalla prima finestra di via Zamboni (vedere sezione long) si estende nella volta ramificandosi in direzione della prima finestra sulla piazza. Una lesione di grave entità, per metà stilata congiunge il pilastro tra la prima e la seconda finestra della piazza e il pilastro cruciforme al centro della stanza.

Anche la terza finestra della piazza è sovrastata da una lesione grave che raggiunge la volta e prosegue fino al centro di questa. Lesioni di media gravità si diramano dal pilastro cruciforme, verso la campata più lontana dalla strada e verso quella più vicina. Ancora di media gravità sono le lesioni che congiungono “virtualmente” il pilastro tra la prima e seconda finestra della piazza e quello tra la prima e la seconda sulla strada.

Nello corridoio compreso tra il tramezzo realizzato a ridosso della seconda finestra, e il secondo ordine di pilastri che comprende la seconda finestra della strada, è risultato piuttosto difficile realizzare un rilievo del soffitto per la presenza di condotte e tubature, si è notata però una fessura grave che parte dalla finestra e si estende fino al centro della volta.

Sulla sommità dell'entrata che conduce nella sala che comprende la terza e la quarta finestra di via Zamboni, è presente una fessura grave, che si estende sulla parete opposta alla strada (fig.4.3.1) fino al pilastro successivo (fig.4.3.2). Anche l'apertura opposta presenta sulla sua sommità una lesione grave che si estende fino alla parete opposta alla strada (fig.4.3.3).

. All'interno di questa stanza sono presenti numerose aree in cui l'intonaco è molto degradato; il pilastro tra la quarta finestra da piazza Rossini e l'apertura che conduce alla sala successiva, risulta particolarmente degradata (fig. 4.3.4), così come la sommità del pilastro tra la seconda e la terza volta appartenute alla parete confinante con la strada (fig. 4.3.5).



Fig. 4.3.1.: particolare della fessura che segue l'andamento della volta.



Fig. 4.3.2.: Particolare della fessura che segue l'andamento della volta.



Fig. 4.3.3.: *Particolare della fessura che si apre sulla sommità della porta all'altezza della quarta finestra.*



Fig. 4.3.4.: *Degrado dell'intonaco sulla sommità del pilastro tra la quarta finestra da piazza Rossini e l'apertura che conduce alla sala successiva*



Fig. 4.3.5.: *Intonaco degradato sulla sommità del pilastro che divide la seconda e la terza volta.*

Procedendo nella successiva sala che confina con la via Zamboni, si nota un fessura grave che congiunge il pilastro cruciforme con il pilastro esterno, e un'altra che lo congiunge il pilastro della campata opposta. È risultato piuttosto difficile riportare delle testimonianze fotografiche data la presenza di condotte e tubature

Da questo si dirama un'ulteriore fessura che taglia in diagonale la volta fino al centro. Poco più a destra, all'altezza della mezzeria della finestra opposta, ha origine una fessura che arriva fino al pilastro quadrato al centro della sala. Dalla seconda finestra della sala, si apre una fessura (fig. 4.3.6) che attraversando le due volte adiacenti, congiunge le due pareti opposte.



Fig. 4.3.6.: *Inizio della fessura sulla sommità della seconda finestra della sala
(sesta a partire da piazza Rossini)*

Superata la prima volta, in prossimità del centro della seconda, la fessura si dirama e raggiunge la parete interna in due punti. Dal punto più vicino all'apertura si dirama un'ulteriore fessura grave che descrivendo un arco arriva sulla mezzeria della porta stessa. Oltrepassando la porta si accede nell'ultimo ambiente; sovrasta l'apertura una fessura che proseguendo dalla precedente solca il soffitto per circa due metri per poi dirigersi a destra, fino ad incontrare il muro alla destra della porta. Nello stesso ambiente, in prossimità dei due scalini che lo dividono dall'ultimo ambiente interrato dove c'è la scala che conduce all'esterno, si notano una serie di fessure gravi che attraversano la stanza in direzione della dimensione minore. Da



Fig. 4.3.7.: Fessura che attraversa la volta fino a raggiungere la sommità della porta.

questo reticolo di fessure, si origina una lesione che arriva fino alla porta (fig.4.3.7), in linea con le finestre al disotto della strada, che conduce ad un magazzino. Perpendicolarmente ad essa si estende un'altra fessura che arriva fino al muro di confine con l'edificio adiacente.

4.4. Il piano terra

Nella pavimentazione del portico del piano terra, sono presenti diverse fessure con andamento longitudinale e con livelli di gravità differente. Tra la quarta campata (contando da via Zamboni) e quella centrale, è visibile un dissesto nel pavimento, denunciato da un evidente cambio di quota tra le pavimentazioni delle due campate (fig. 4.4.1). Tutti gli archi, che si estendono perpendicolarmente alla strada, (fatta eccezione degli ultimi due) presentano i giunti dei conci in chiave allargati e successivamente stilati (fig. 4.4.2). Le fessure che si sono riscontrate nelle volte sono di media e lieve entità, e risultano per la maggior parte stilate.

Ben visibile è la lunga fessura che si apre sulla volta a botte dell'androne principale (fig. 4.4.3) questa partendo dalla destra del portone (fig. 4.4.4) arriva fino alla destra dell'apertura a sinistra dell'androne. Parallela a questa si dirama un'altra fessura più a sinistra della precedente, meno lunga, della stessa gravità, ma stilata.



Fig. 4.4.1.: *Evidente dissesto del portico allato destro del portone principale; si nota un evidente cambio di quota.*

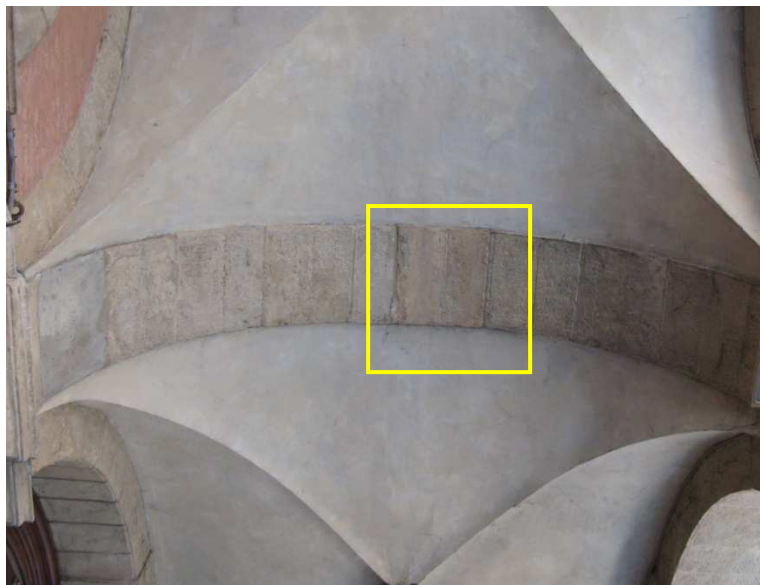


Fig. 4.4.2.: *Quinto arco(da piazza Rossini) del portico di via Zamboni; si nota che il giunto a sinistra del concio in chiave è stilato.*

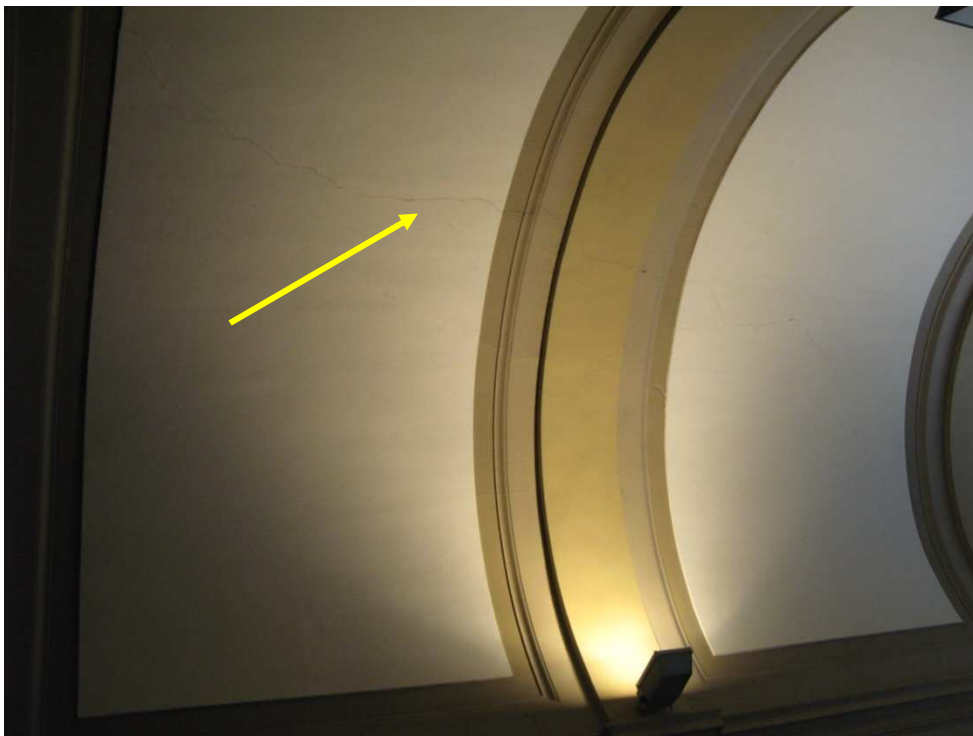


Fig. 4.4.3.: *Fessura che si apre sull'arco del portone principale (fig. 4.4.4), prosegue sulla volta sovrastante l'ingrasso principale*



Fig. 4.4.4.: *Arco del portone dell'ingresso principale; si nota l'inizio della lesione..*

Anche sul pavimento si apre una lesione (fig. 4.4.5), che parte dalla destra del portone e si dirige perpendicolarmente alla strada verso l'interno, per poi

cambiare direzione con un angolo di 90° (fig. 4.4.5 rif. 1) all'altezza dell'arco sovrastante.



Fig. 4.4.5.: Fessura che attraversa il pavimento alla destra dell'androne, si nota il cambio di angolazione a 90° .

Le stanze dell'edificio che si affacciano su piazza Rossini, risultano tutte controsoffittate, perciò non è stato possibile rilevare il quadro fessurativo delle volte sovrastanti. Nel disimpegno che precede lo scalone principale è ben visibile una fessura nella volta (fig. 4.4.6 rif. 1). Questa parte dall'imposta dell'arco (fig. 4.4.6 rif. 2) che sovrasta i primi gradini dello scalone e si dirama su tutta la volta fino alla parete di fronte per proseguire fino a terra (fig. 4.4.6 rif. 3 e fig. 4.4.7 rif. 1). Dall'estradosso dell'arco (fig. 4.4.6 rif. 4), all'altezza della chiave si dirama sulla volta un'altra fessura che parte dalla faccia dell'arco rivolta verso la scala (fig. 4.4.8 rif.1).

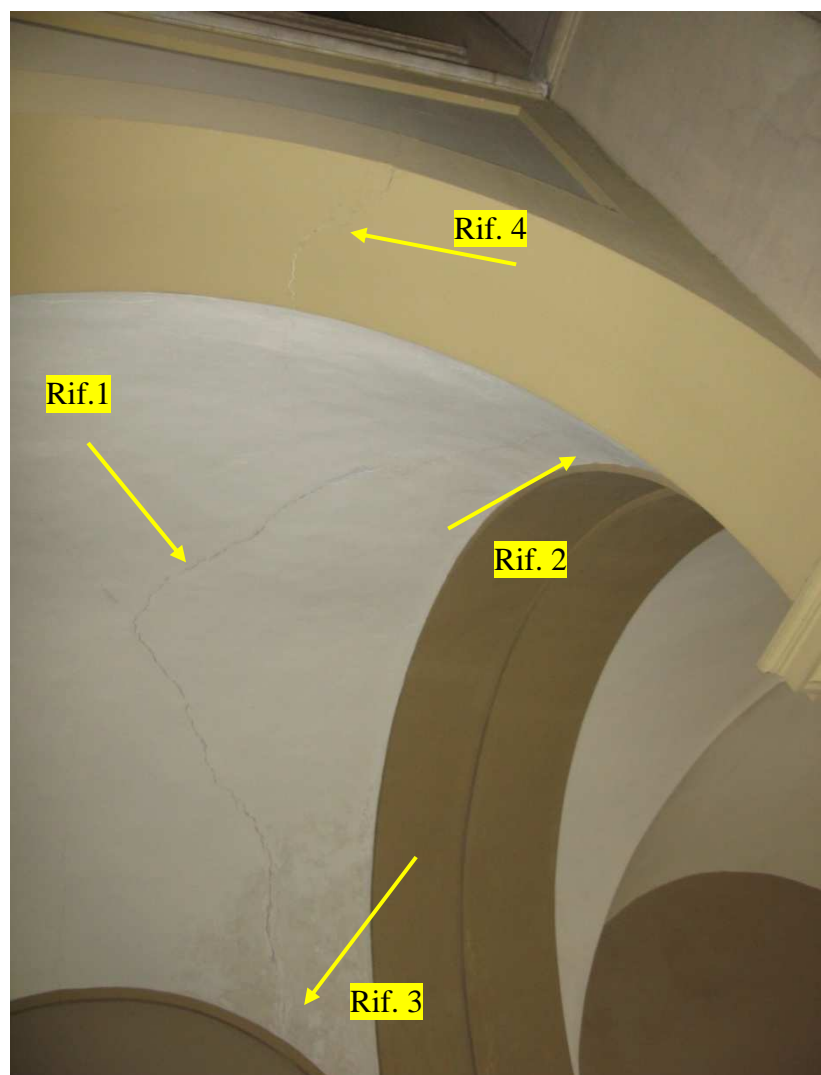


Fig. 4.4.6: Vista della volta sovrastante il disimpegno che precede lo scalone principale che dal piano terra conduce al piano nobile.

La “Sala dei Caduti sul lavoro” (subito a destra dell’androne) non presenta fessurazioni nella pavimentazione; nella volta non si riscontrano lesioni di particolare rilevanza, ma sono però evidenti nel lato di confine con l’androne e nel lato a questo adiacente opposto alla strada, dei cedimenti riconoscibili da uno sfalsamento del piano.

In figura è riportato il rilievo fessurativo completo rilevato in sito e restituito su tavola grafica.

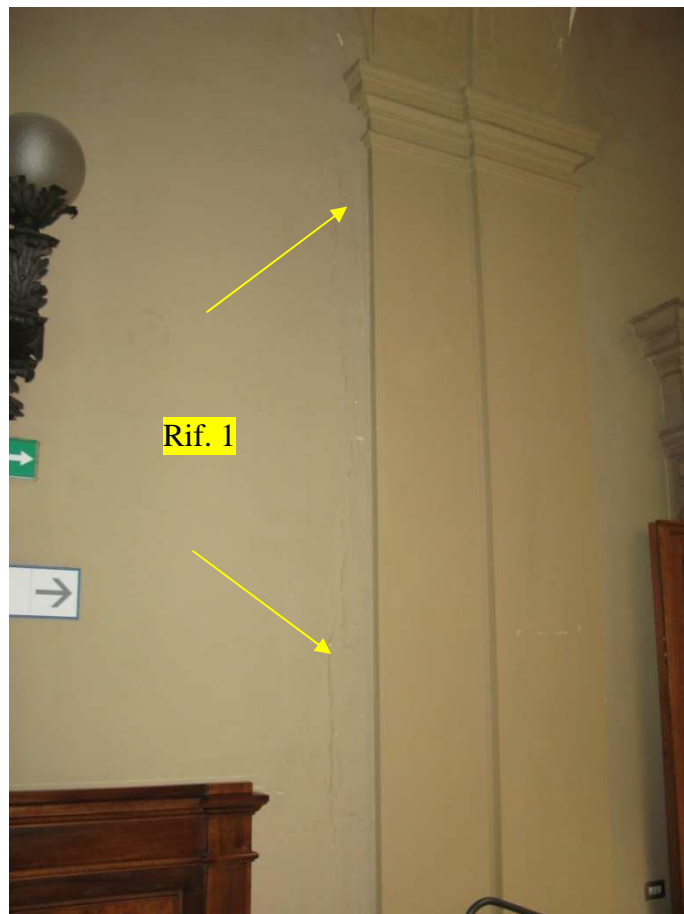


Fig. 4.4.7: Vista della lesena dallo scalone principale, sopra di essa si estende la volta della figura precedente.

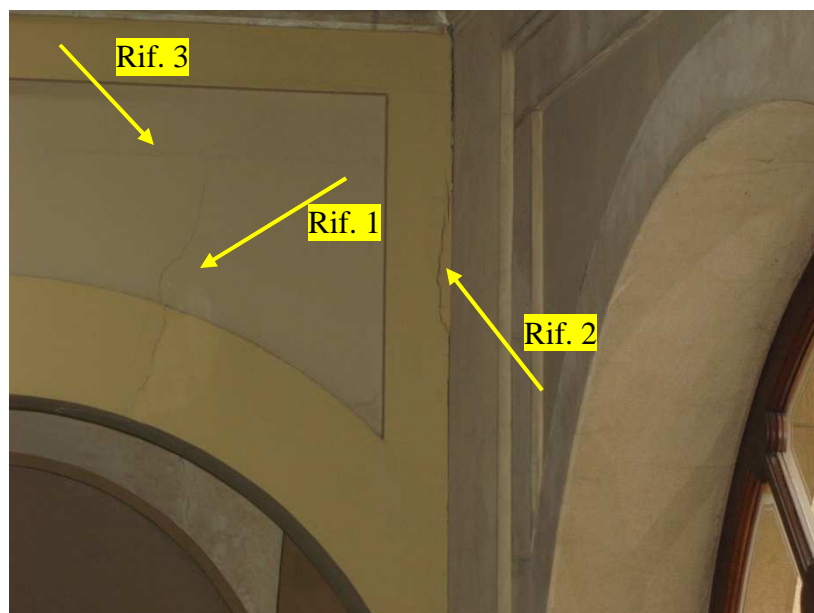


Fig. 4.4.8: Particolare della facciata dell'arco visto dalla prima rampa dello scalone principale.

4.5. Il primo piano

Nel primo piano, detto anche piano nobile, sono visibili un gran numero di lesioni in quasi tutti gli ambienti.

Partendo dalla “Sala Rossa” che si trova nell’angolo tra la via Zamboni e la piazza Rossini, si notano sulla pavimentazione numerose fessure la maggior parte di grave entità. Osservando la planimetria della sala (fig tavola) il lato opposto alla parete prospiciente piazza Rossini è attraversato per la lunghezza compresa tra le due aperture da una fessura di grave entità di cui l’inizio si vede nella fig.4.5.1 (rif. 1.) e la fine nella fig. 4.5.2 (rif.3).

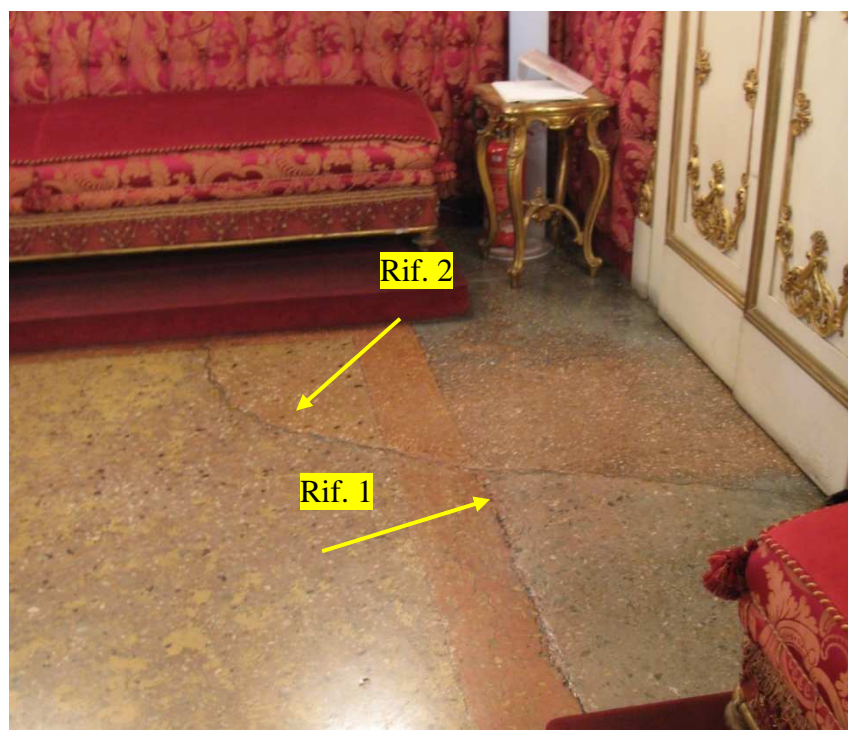


Fig. 4.5.1: Particolare della sala Rossa, angolo tra la parete opposta a piazza Rossini e la parete confinante con la sala di rappresentanza.

Nell’angolo tra questo muro e la parete su via Zamboni, si aprono tre fessure che tagliano diagonalmente il pavimento compreso tra le pareti adiacenti (fig. 4.5.3). Due di esse sono molto vicine (rif. 1 e 2) mentre l’altra è più distante e congiunge lo stipite sinistro della porta e la cornice della finestra (rif. 4). In corrispondenza della metà di queste fessure, se ne apre un’altra (rif. 5) che taglia diagonalmente la sala fino alla mezzeria (fig. 4.5.3), da qui la fessura si dirama in tre bracci che si dirigono verso le finestre prospicienti la piazza (fig.4.5.4).

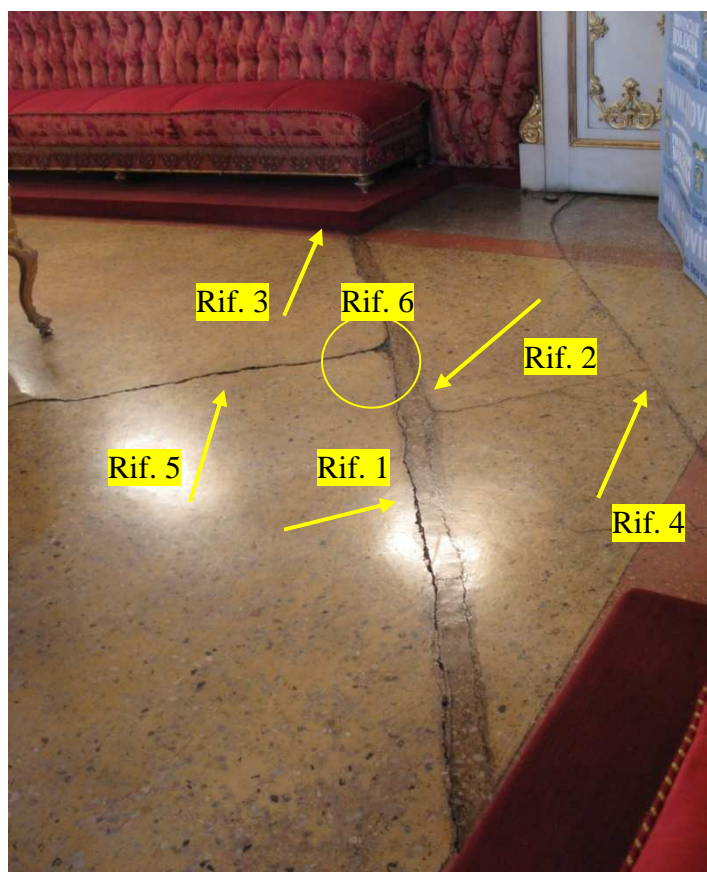


Fig. 4.5.2: Particolare della Sala Rossa, angolo tra la parete opposta alla piazza e via Zamboni.



Fig. 4.5.3: Ingrandimento del particolare della fessura indicata nel rif. 6 fig. 4.



Fig. 4.5.4: Particolare della fessura che prosegue dal rif. 5 e attraversa tutta la sala, per poi diramarsi in tre bracci (fig.4.5.5)

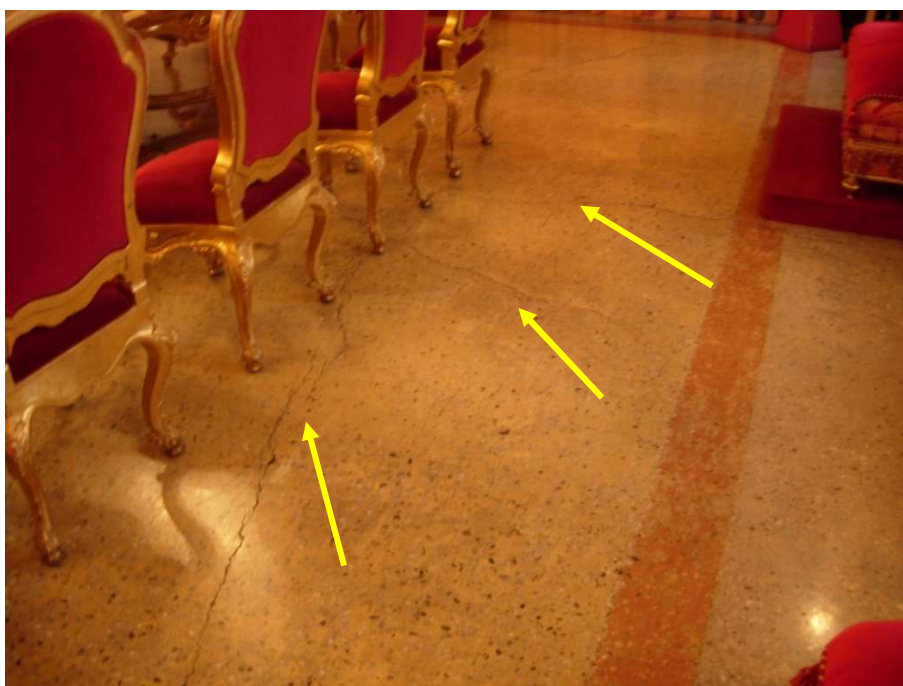


Fig. 4.5.5: Particolare della parte terminale della fessura del rif. 5 della fig.4.5.2 si vede che questa si dirama in tre bracci.

Dall'angolo che la parete prospiciente la piazza forma con quella che si affaccia su via Zamboni, si dirama una fessura diagonale e parallelamente a

questa, dallo spigolo esterno della cornice della prima finestra di via Zamboni si nota un'altra fessura (fig. 4.5.6). Nell'angolo diagonalmente opposto a questo, si apre una lesione che congiunge le due pareti (fig. 4.5.1 rif. 2).

Nella parete opposta alle finestre che affacciano sulla piazza, nello spazio compreso fra le due aperture, si può osservare un fessura che spacca la cornice lignea e si propaga sul muro (fig. 4.5.7)

Di fronte l'apertura che conduce alla sala adiacente sul lato di piazza Rossini, e nella soglia stessa della porta è visibile un dissesto della pavimentazione caratterizzato anche da degrado del materiale e da piccole variazioni di quota (fig.).



Fig. 4.5.6: *Fessura che si propaga dall'angolo esterno del palazzo.*

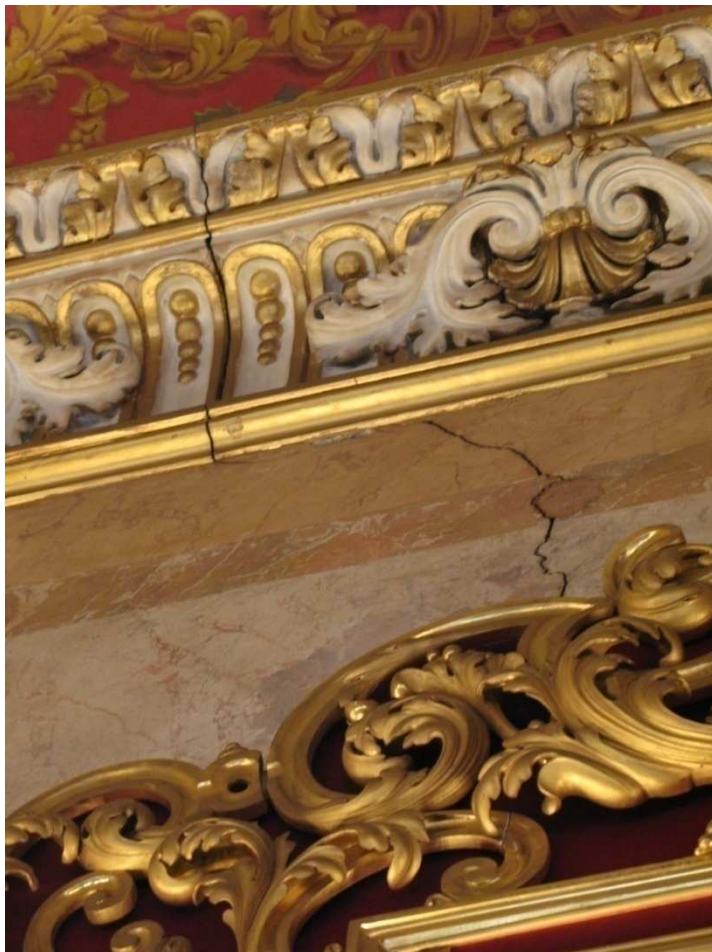


Fig. 4.5.7: Particolare della cornice della parete opposta alle finestre della piazza; la lesione attraversa la cornice e si propaga nel muro..



Fig. 4.5.8.: Particolare della soglia che dalla Sala rossa conduce alla sala adiacente lungo il lato di piazza Rossini, si nota il dissesto del pavimento e il degrado del materiale.

Nella “Sala di Rappresentanza”, si apre una fessura parallela alla parete opposta alla piazza, che sembra essere un proseguimento di quella proveniente dalla sala Rossa, posta sullo stesso lato (fig. 4.5.9).

Perpendicolarmente a questa all’altezza della mezzeria del pilastro intermedio tra le due finestre si dirama una lesione che attraversa tutta la sala. Anche in prossimità della soglia dell’apertura che conduce alle anticamere, adiacenti il cortile si nota un dissesto evidente della pavimentazione (fig. 4.5.10).



Fig. 4.5.9: *Particolare della sala adiacente la sala Rossa; è visibile la fessura che taglia la sala parallelamente alla facciata prospiciente la piazza.*

Nella seconda sala che si affaccia su via Zamboni, è presente una pavimentazione in legno, non è stato perciò possibile effettuare il rilievo delle lesioni nel solaio sottostante. Le lesioni sulla volta sono di media o lieve entità, tranne per le due fessure in prossimità della prima finestra della

sala (la terza partendo dalla piazza) che partendo dalla cornice della finestra (sezione



Fig. 4.5.10: *Particolare del pavimento della Sala di Rappresentanza; si nota il dissesto in prossimità della soglia che conduce alla prima anticamera.*

longitudinale) arrivano fino alla volta. Nella “Sala della Giunta”, non sono visibili nel soffitto particolari lesioni, fatta eccezione di qualche lieve fessura sulla cornice dell’ovale, e in particolare di una che partendo dalla cornice della finestra (come si vede anche nella sezione longitudinale) attraversano la volta, fino ad arrivare alla cornice dell’ovale. Di maggiore importanza, sul pavimento, si considera la lesione che parte dallo stipite della prima porta sul lato parallelo a via Zamboni (fig. 4.5.11).

La saletta che si affaccia sul cortile interno compresa tra queste ultime due stanze, è interessata da importanti fessure sia sul pavimento che sulla volta. Tra le due finestre si apre una fessura grave nel pavimento (fig. 4.5.12, Rif. 1) che attraversa la sala secondo le dimensione minore, da questa in prossimità della parete lato che affaccia sul cortile interno si dirama perpendicolarmente un’altra fessura (fig. 4.5.12, Rif. 2). Quasi in corrispondenza della lesione rif. 1 fig. 4.5.11, si apre sulla volta una fessura di grave entità, ma stilata (fig. 4.5.13).



Fig. 4.5.11: Particolare della sala della Giunta, si nota la fessura che dallo stipite della porta si dirama all'interno della sala.

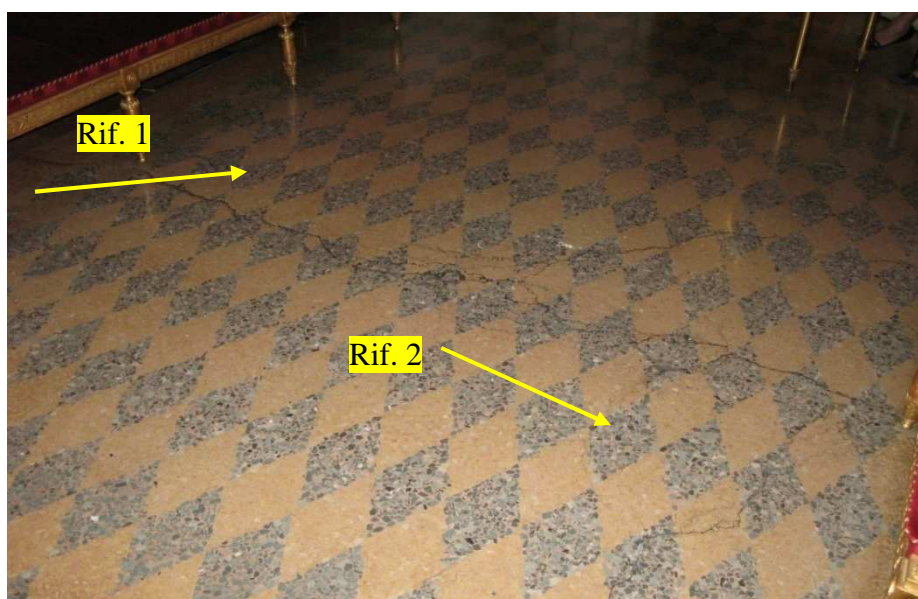


Fig. 4.5.12: Particolare del pavimento della saletta prospiciente il cortile interno, compresa tra la sala della Giunta e la sala del Consiglio; sono visibili le fessure che attraversa la sala (Rif.1) e l'altra ad essa perpendicolare (Rif. 2).

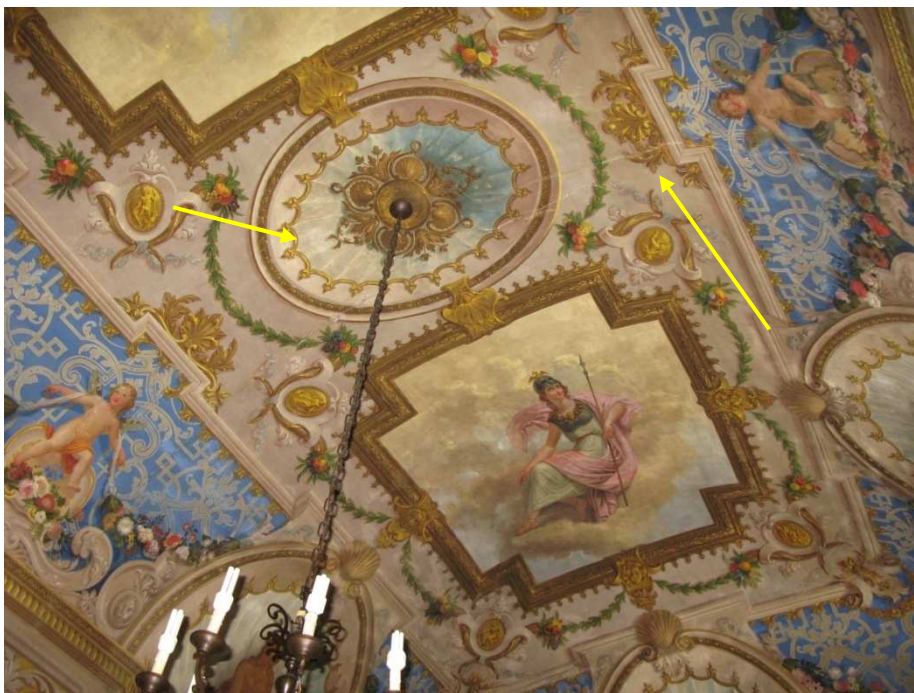


Fig. 4.5.13: *Particolare della volta della saletta prospiciente il cortile interno, compresa tra la sala della Giunta e la sala del Consiglio; è visibile la fessura che attraversa la volta della sala.*



Fig. 4.5.14.: *Particolare della volta della sala dello Zodiaco; si vede che la fessura parte dall'angolo e si dirama sulla volta.*

Nel pianerottolo che conduce allo scalone, sono presenti numerose fessure, di lieve entità con andamento perpendicolare tra di loro, e in particolare la fessura più vicina alla porta dal lato che confina con il cortile (fig. 4.5.14) prosegue sulla faccia dell'arco sottostante la scala al piano inferiore (fig.4.4.8 rif.2).

L'ultima sala su via Zamboni "Sala dello Zodiaco" è caratterizzata da fessure di media e grave entità agli angoli delle volte (fig. 4.5.15), e si nota sul pavimento una lesione, (fig. 4.5.15 rif. 1) che dalla prima delle due finestre sul lato opposto alla strada si dirama diagonalmente fino all'altezza dell'apertura della parete confinante con la "Sala della Giunta". Sotto la stessa finestra si nota un'altra fessura (fig 4.5.15 rif. 2) che da un'estremità della cornice della finestra procede orizzontalmente, per poi curvare a sinistra. Procedendo sulla parete che confina con la sala della Giunta, in prossimità dell'altra porta, si incontra una lesione di media entità che dalla parete procede perpendicolarmente verso l'interno della sala (fig. 4.).



Fig. 4.5.15.: Particolare del pavimento della sala dello Zodiaco; si nota la fessura rif. 1 che partendo dalla finestra si propaga nel centro della sala, e l'altra che taglia il pavimento sottostante la finestra rif.2.

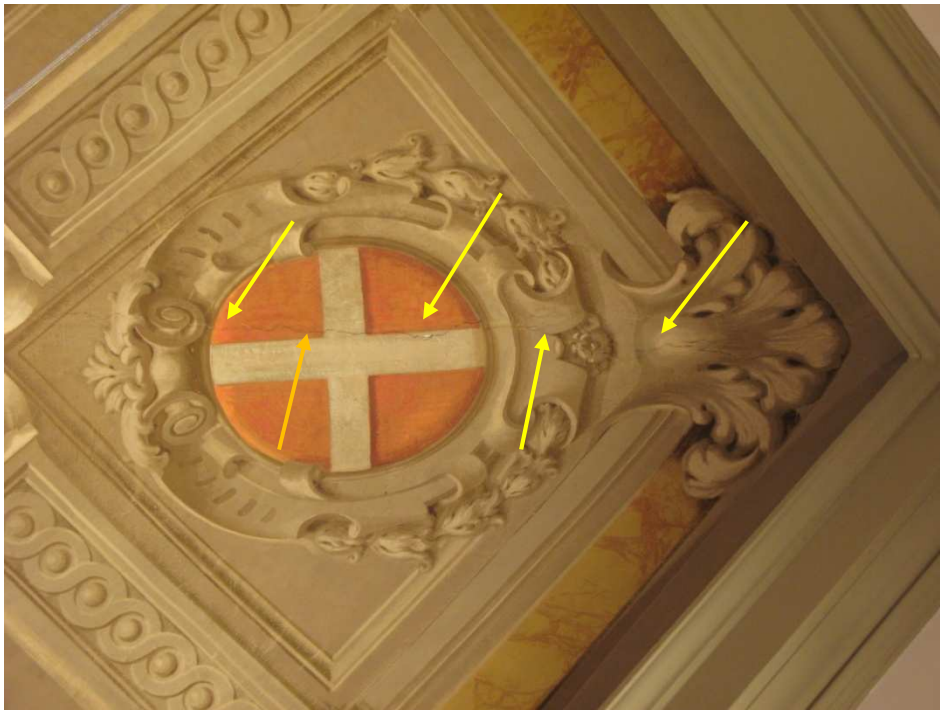


Fig. 4.5.16: Particolare della volta della sala dello Zodiaco; si vede che la fessura parte dall'angolo e si dirama sulla volta.



Fig. 4.5.17.: Particolare del pavimento della sala dello Zodiaco; si osserva la fessura parte dalla porzione di parete compresa tra le due aperture e si dirama verso il centro della sala.

In figura è riportato il rilievo fessurativo completo rilevato in sito e restituito su tavola grafica.

4.6. Il secondo piano

Nel secondo piano sono state rilevate delle lesioni quasi esclusivamente nella Sala Ovale, fatta eccezione per quale fessura di lieve entità nelle sale adiacenti, di modesto interesse.

Nella sala ovale sono presenti delle librerie a parete che proseguono per 70-80 cm dall'estremità superiore delle porte. Perciò si è potuto effettuare il rilievo, solo nelle zone "scoperte". Il soffitto della sala presenta numerose fessure, a differenza del pavimento che ne è invece privo.

Osservando le sezioni longitudinali, si può osservare che dalle finestre si diramano numerose fessure che raggiungono nella maggior parte dei casi la volta. In particolare nell'angolo che la prima parete della sala (partendo dalla piazza) perpendicolare a via Zamboni, forma con la parete prospiciente la stessa via sono presenti numerose fessure congiungenti le due pareti (fig. 4.6.1). Dalla prima finestra, si estende una fessura che raggiunge verticalmente la volta dirigendosi poi, verso la porta della parete adiacente. Dalla terza finestra parte una fessura grave stilata (fig. 4.6.2 Rif. 1) che arriva fino a metà della volta, e altre due di entità minore (rif. 2) che si estendono sulla volta per un tratto molto più breve.

Anche l'angolo tra la parete di via Zamboni e quella più lontana dalla piazza, è investito da numerose aperture, tutte di grave entità, ma stilate. Il lato opposto a via Zamboni, presenta una fessura grave, già stilata, tra la seconda e la terza apertura (partendo dalla Piazza) questa iniziando dalla libreria a muro in legno, arriva fin sopra la volta e poi si dirige, verso l'apertura dell'altra parete ad essa adiacente.



Fig. 4.6.1: *Particolare del soffitto della sala Ovale; si osserva la fessura parte dalla mezzeria della prima finestra su via Zamboni, arriva fin sopra la volta e poi si dirige a destra verso la porta vicina .*

Sulla seconda apertura è presente una fessura verticale che solca la volta arrivando fino al centro, di media entità e stilata. Tra la prima e la seconda apertura è stata rilevata una fessura grave, già stilata, che raggiunge anch'essa il centro della sala, e infine nell'angolo compreso fra la prima apertura e l'altra parete ad essa perpendicolare, è visibile una fessura che procede diagonalmente verso il centro.

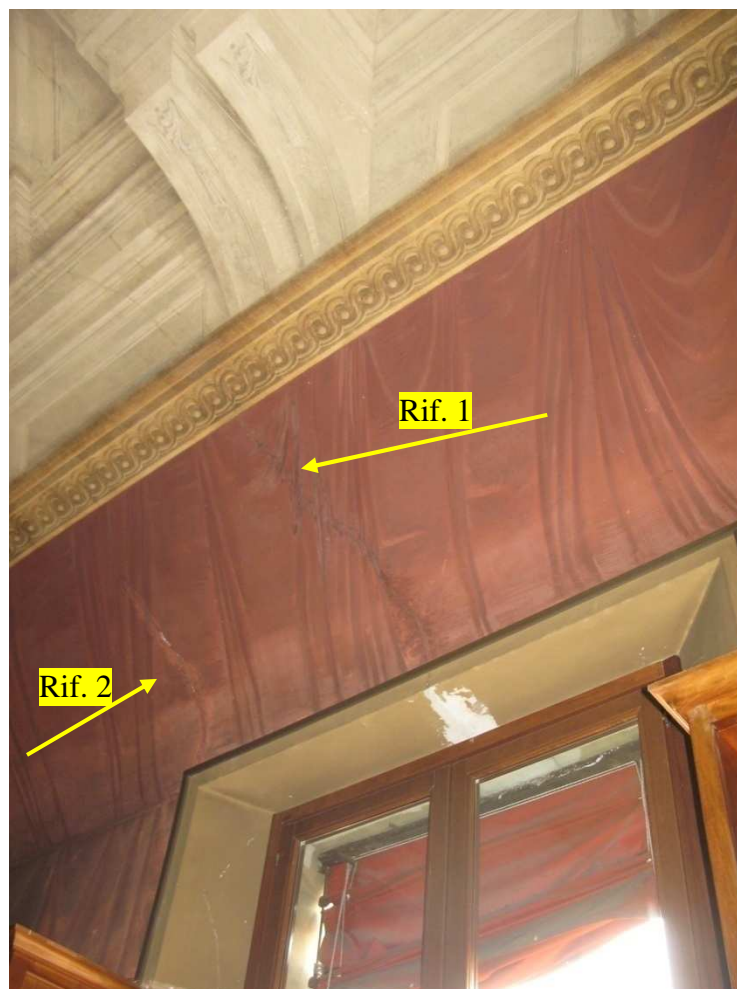


Fig. 4.6.2.: Particolare della terza finestra della sala Ovale; si osserva la fessura parte dalla mezzeria della prima finestra su via Zamboni, arriva fin sopra la volta.

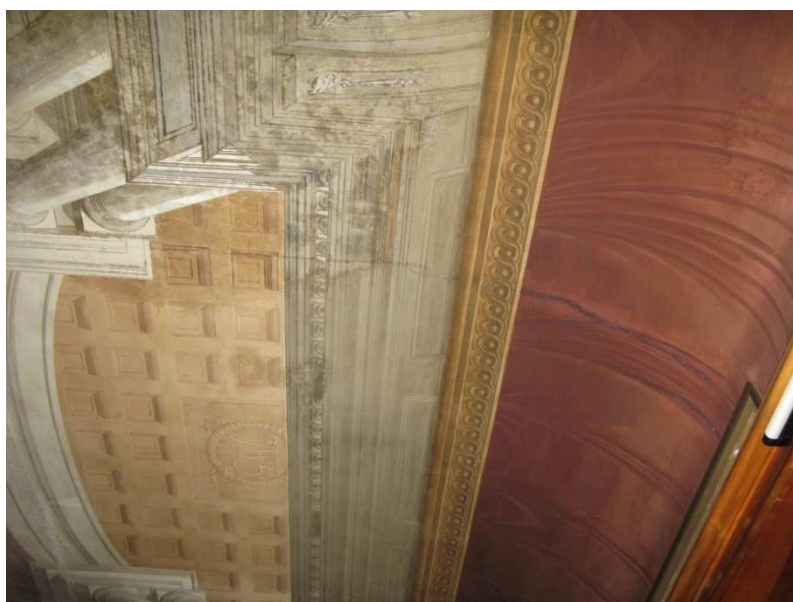


Fig. 4.6.3.: Particolare della volta della Sala Ovale ; si osserva la fessura che parte dalla mezzeria dell'apertura di mezzo della parete opposta a via Zamboni, e arriva fino al centro della volta.

In figura è riportato il rilievo fessurativo completo rilevato in sito e restituito su tavola grafica.

4.7. Il terzo piano

Nel terzo piano non sono presenti fenomeni fessurativi rilevanti, probabilmente questo è da imputarsi alla recente imbiancatura delle pareti.

Si possono indicare alcune fessure di media importanza, tra le due travi lignee della sala ad angolo tra piazza Rossini e via Zamboni e altre due fessure che si estendono longitudinalmente lungo il corridoio rialzato tra i due lucernari.

In figura è riportato il rilievo fessurativo completo rilevato in sito e restituito su tavola grafica.

4.8. Le sezioni longitudinali

Nella tavola (Sezione BB') viene riportato il quadro complessivo delle fessure dell'edificio visibili sulla parete di confine con la via Zamboni, e nella tavola (sezione AA') è invece visibile l'insieme delle lesioni che investono la parete opposta.

Nel piano interrato si notano sulle pareti numerose cavillature e lesioni di media gravità in tutte e due le pareti; nella sezione BB' le prime due finestre dalla piazza, presentano entrambe, una lesione che parte dall'estremità superiore della finestra e si dirama sulla volta come si vede nella tavola della planimetria del piano interrato tavola

Nella sezione AA', nella terza e nella quarta campata si individuano delle fessure gravi che seguono il profilo della volta (fig.4.3.2 e fig 4.3.1).

Salendo al piano superiore (piano terra) nella sezione BB', la seconda finestra a partire dalla piazza, presenta numerose fessure gravi, che iniziano nella parte alta e terminano nella parte inferiore. Di fronte ad essa più spostata verso l'interno dell'edificio, come mostra la sezione AA', una lesione grave, taglia a metà il tramezzo. La campata comprendente il portone presenta una fessura grave nella parte in alto a destra della del portone (sezione BB') (fig. 4.4.4). La prima finestra della sala dei caduti presenta nella parte alta una fessura di lieve entità, e così anche la cornice in pietra tra le due finestre. La seconda finestra, presenta nell'estremità a destra una fessura grave, ma stilata che prosegue nella volta, come si può notare dalla planimetria del piano terra (fig. 4.). Nella parete opposta (sezione AA') si riscontra una sola fessura al centro della cornice, e sopra di essa è visibile un abbassamento della volta. La penultima finestra dal lato di via

Zamboni (sezione BB') presenta delle lesioni di media entità sulla sommità, mentre l'ultima è attraversata nell'angolo in alto a sinistra da una lesione grave che si congiunge nel soffitto con un'altra lesione (fig. 4.) che arriva fino a terra, per gran parte stilata. Nella parete opposta (sezione AA') si riscontrano solo delle cavillature e delle lesioni di media entità localizzate sulle cornici delle finestre.

Al piano nobile sulle finestre della Sala Rossa (sezione BB'), si riscontrano due fessure che attraversano le cornici (fig. 4.8.1 e fig 4.8.2), nell'angolo a destra, dirigendosi da destra verso sinistra, e poi seguono le imposte delle finestre fino a terra, tagliando in diagonale (da destra a sinistra) la porzione inferiore delle finestre. Nella parte alta della prima finestra la fessura prosegue interessando la volta con lo stesso livello di gravità, anche dalla seconda finestra si osserva un prolungamento della fessura, ma di gravità inferiore (fig. tavola).



Fig. 4.8.1.: *Particolare della seconda finestra della sala Rossa; si osserva la fessura che attraversa la cornice e segue l'imposta della finestra.*



Fig. 4.8.2.: Particolare della prima finestra su via Zamboni della sala Rossa; si osserva la fessura che parte dall'angolo della cornice e segue l'imposta della finestra.

La parete opposta (sezione AA') risulta pulita a meno di cavillature nella parte a destra della parete e da un'lesione di media entità che attraversa la cornice lignea.

Nella prima finestra (sezione BB') della sala adiacente alla Sala Rossa sono visibili due lesioni che non interessano tutta la finestra, ma dalla sommità di questa si estendono sulla volta (fig. pianta piano primo). Nella parete opposta (sezione BB') sono visibili delle fessure medie che si estendono dalla cornice alla soffitto.

Nella sala del Consiglio sono presenti poche lesioni; nella parete su via Zamboni (sezione BB'), le prime due finestre presentano delle fessure medie sulla sommità, mentre dalla cornice in alto dell'ultima finestra si propaga una fessura (fig. 4.8.3), precedentemente stilata che raggiunge la cornice dell'ovale. Nella parete opposta (sezione AA') non si riscontrano lesioni. Nella parete esterna della sala dello Zodiaco (sezione BB') sono visibili solo le lesioni che si diramano dagli angoli della volta. Per la parete opposta, (Sezione AA'), oltre ad una lesione che si estende nell'angolo a sinistra, sono presenti delle fessure che di media e lieve entità che dalla

cornice della parete raggiungono il soffitto, sono localizzate nella metà sinistra della parete.



Fig. 4.8.3.: Particolare della seconda finestra della sala del consiglio; si osserva la fessura che parte dalla cornice della finestra.

Passando al piano superiore, si osserva che la sala ovale è l'unica all'interno della quale si individuano delle fessure.

Nel lato che si affaccia sulla strada (sezione BB') la cornice della parte alta della prima finestra presenta una lesione grave e stilata nella mezzeria, da qui si propaga fino alla parete adiacente (fig. 4.6.1) (fig. pianta piano secondo).

La seconda finestra presenta sulla cornice in alto quattro fessure, due gravi e due medie, quella più a destra si estende fino a metà della volta, mentre le altre tre, la raggiungono ma si arrestano dopo un piccolo tratto. L'ultima finestra è caratterizzata da due fessure gravi e stilate che dalla cornice superiore arrivano fino alla volta proseguendo per un tratto piuttosto lungo (fig. 4.6.2).

La parete opposta (sezione AA') è caratterizzata da numerose fessure, concentrate nella porzione di parete compresa tra le aperture estreme. Tra la prima e la seconda porta, una fessura di media entità, partendo dal serramento ligneo, arriva fino alla volta e su essa prosegue dirigendosi verso

la prima porta. Vicino a questa si apre una lesione di grave entità, stilata, che linearmente raggiunge le volta (fig.4.8.4), estendendosi fino al centro di questa. Stesso andamento ha la fessura di media entità posizionata sopra la seconda apertura (fig. 4.6.3), e infine poco prima sulla terza porta si osservano due lesioni gravi che arrivano sul soffitto dirigendosi verso l'apertura del muro adiacente.



Fig. 4.8.4: Porzione della volta della sala Ovale compresa tra la prima e la seconda apertura della parete opposta a via Zamboni.

Nel piano superiore si sono notate delle cavillature sulla seconda porta della sezione BB', una lesione media stilata che dalla sommità della terza porta arriva fino al soffitto, e altre due lesioni medie, verticali situate all'inizio della scala discendente, qualche cavillatura tra le travi sezionate nella sala successiva e una lesione media che attraversa la parete nella sua altezza in prossimità del muro divisorio con la sala che affaccia su piazza Rossini.

Nella parete opposta (sezione AA') si evidenzia un lesione verticale che segue il primo spigolo del pilastro alla fine della sala discendente.

Nelle figure è riportato il rilievo fessurativo completo rilevato in sito e restituito su tavole grafiche.

4.9. Le sezioni trasversali passanti nella “Sala Ovale”

Le sezioni trasversali che attraversano la sala ovale e i rispettivi ambienti dei piani sottostanti, restituiscono un quadro fessurativo molto limitato, essendo le pareti mostrate nelle sezioni poco lesionate.

Nel piano interrato si individua nella sezione rivolta verso piazza Rossini (sezione CC'tavola) una sola fessura grave a destra della seconda volta che poi si estende in diagonale fino al centro della stessa e visibile anche dalla sezione DD' poiché posizionata lungo la linea di sezione. La parete del piano terra mostrata nella sezione CC', mostra il cedimento della volta nella parte sopra la cornice, nella quale si notano una fessura lieve a sinistra della sala. Nella parete opposta sezione DD', si individua sulla cornice, una lesione media e stilata a sinistra della sala.

Al piano superiore, nella sala del consiglio non sono state individuate lesioni, solo nella saletta prospiciente il cortile interno, sulla parete DD', si nota una fessura grave all'angolo a sinistra della volta, nella parete opposta (sezione CC'), è presente una fessura media a sinistra.

La parete mostrata dalla sezione CC', della sala Ovale presenta numerose lesioni medie che investono la porzione di parete tra i serramenti murari e l'inizio della volta; nell'angolo a destra, una fessura grave taglia in diagonale la parete dall'alto a sinistra in basso a destra (fig. 4.9.1). Altre due fessure gravi sono state individuate poco a destra della prima apertura, la più lunga delle due raggiunge volta e si dirige verso la parete esterna adiacente (figura tavola piano secondo).

La parete opposta (sezione DD') mostra qualche cavillatura sulla seconda porta, e delle lesioni di media gravità, stilate, che dall'estremità superiore dei serramenti arrivano fino alla volta, e in particolare quella al centro prosegue fino a centro del soffitto.

Nelle figure è riportato il rilievo fessurativo completo rilevato in sito e restituito su tavole grafiche.



Fig. 4.9.1: Porzione della volta della sala Ovale compresa tra la prima apertura della parete perpendicolare alla strada e la parete opposta; si nota la lesione, stilata che taglia dal basso a destra verso l'alto a sinistra la volta.

4.10. La sezione longitudinale del cortile interno verso via Zamboni

La sezione passante all'interno del cortile principale interno (sezione FF') mostra una suddivisione dell'edificio in tre parti principali; una sezione del corpo su piazza Rossini, una vista del cortile interno, e una sezione della parte interna dell'edificio compresa tra i due cortili, che attraversa lo scalone principale.

Nella sezione del corpo su piazza Rossini non sono state individuate lesioni, mentre nella sezione comprendente lo scalone, si notano tre fessure di media entità, sulla facciata dell'arco sotto la balaustra del pianerottolo (fig. 4.4.8) Rif.1 e rif. 2) una taglia in diagonale la faccia dell'arco (fig. 4.4.8 rif. 2) e prosegue poi nell'estradosso, un'altra partendo da destra si dirige orizzontalmente fino oltre la mezzeria dell'arco e l'ultima segue lo spigolo che il muro forma con l'arco, per tutta la lunghezza. È visibile un'altra fessura media nello spessore della volta sovrastante lo scalone che si dirama poi nel soffitto sovrastante il pianerottolo del primo piano, tavola (piano primo).

All'esterno sulla finestra in alto sotto il tetto, si nota una fessura grave che si apre in prossimità dell'angolo a destra.

La porzione del cortile interna è la parte di questa sezione maggiormente fessurata.

Nel piano alto, sotto alla falda del tetto, sono presenti delle fessure lievi e a sinistra del prospetto due lesioni medie tagliano la parete in verticale. Scendendo al piano inferiore, si nota che le soglie delle prime cinque finestre presentano i giunti dei conci di pietra leggermente allargati. Spostandosi al di sotto, la cornice marcapiano con le colonnine sporgenti, presenta delle lesioni medie sul secondo e sul terzo pilastro da sinistra del prospetto (fig.4.10.1)



Fig. 4.10.1: *Tratto della cornice marcapiano tra il secondo piano e il primo piano al di sopra della prima finestra a sinistra del prospetto; la lesione parte dal giunto della cornice superiore, taglia la mensolina e termina nel giunto della cornice inferiore.*

Nella soglia della finestra centrale del primo piano (fig. 4.10.2) si individuano due fessure in corrispondenza dei giunti dei conci in corrispondenza delle imposte della finestra, queste proseguendo al di sotto della soglia si congiungono sulla cornice liscia successiva per poi riallargarsi nella cornice sottostante, sempre nella posizione dei giunti. Queste due fessure sulla cornice sovrastante l'arco si diramano entrambe sulla porzione di muro compresa tra l'arco e la cornice stessa. Si nota che il concio in chiave dell'arco è distaccato ai lati. La terza finestra presenta una situazione pressoché identica alla precedente (fig. 4.10.4. e fig. 4.10.5). Nelle figure è riportato il rilievo fessurativo completo rilevato in sito e restituito su tavole grafiche.

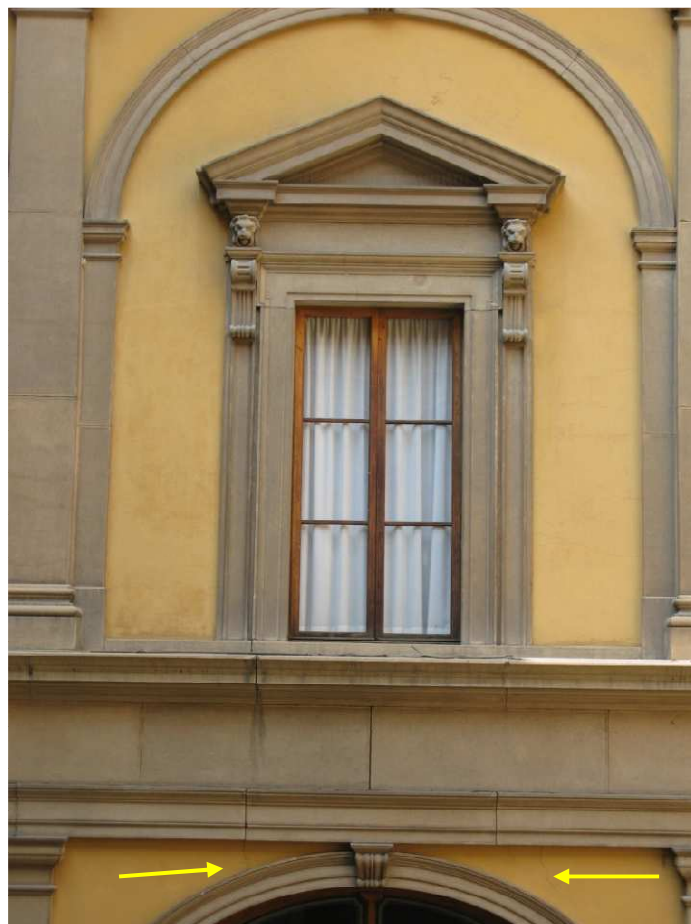


Fig. 4.10.2: Seconda finestra (da sinistra del prospetto) del primo piano del cortile interno.



Fig. 4.10.3: particolare della cornice marcapiano tra il piano terra e il secondo piano; la fessura attraversa i giunti dei conci in pietra.

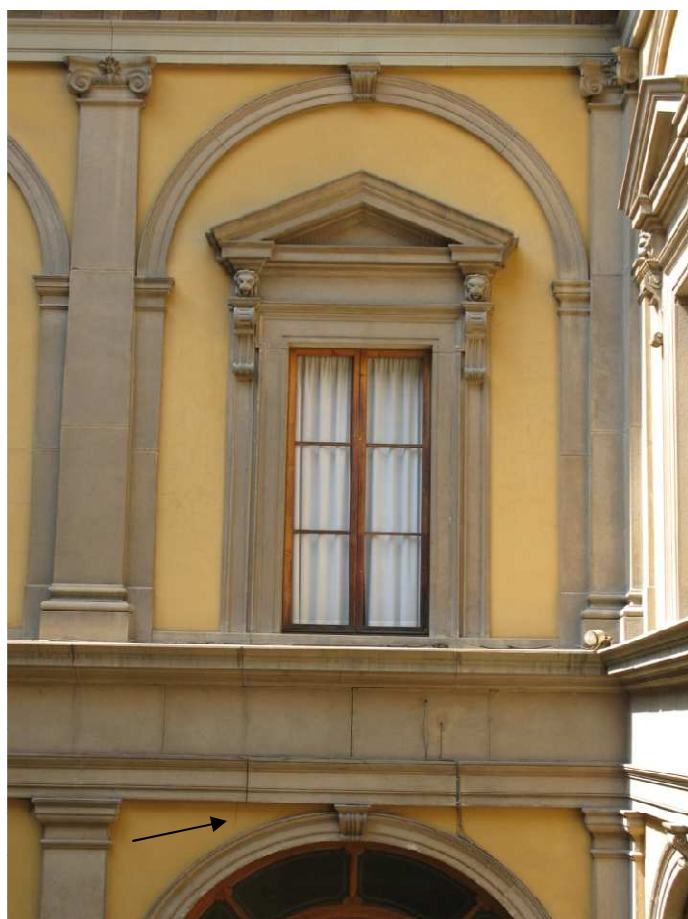


Fig. 4.10. 4: Terza finestra (da sinistra del prospetto) del primo piano del cortile interno.



Fig. 4.10.5: Cornice marcapiano tra il primo piano e il piano terra sopra la terza finestra del cortile interno; si nota la lesione che segue i giunti dei conci in pietra della cornice.

4.11. Il sottotetto

Per il sottotetto, non è stato effettuato il rilievo del quadro fessurativo poiché, data la presenza quasi esclusiva di elementi in legno, non è stata individuata alcuna manifestazioni di dissesto statico.

Come abbiamo detto nel capitolo 2 pag 29, la struttura portante del tetto è composta da campate costituite da pilastri in muratura che sorreggono le travi del tetto alternate da capriate il legno che fungono da rompitratta.

Le parti in legno della struttura di copertura risultano quasi tutte estremamente degradate; la mancanza di un'adeguata coibentazione può comportare infiltrazioni d'acqua piovana e forti variazioni di umidità, entrambi questi fattori sono causa maggiore dei fenomeni di degrado che possono generarsi nel materiale legno fino a renderlo inutilizzabile.

Si nota all'interno dell'ambiente che molte delle capriate presentano travi con macchie di colore scuro (fig. 4.11.1, 4.11.2, 4.11.3)), dovute all'umidità, o a muffe; inoltre le mensole che migliorano l'appoggio tra le travi e i pilastri sono fessurate e ammalorate (fig. 4.11.4). Nelle zone di

ammorsamento legno-muratura si riscontra un evidente stadio di degrado avanzato, che ha fatto marcire le estremità delle travi (figura 4.11.5).

Sono riportate di seguito diverse immagini che testimoniano le condizioni di conservazione degli elementi lignei del tetto.

A questo proposito, dovranno essere effettuate in futuro delle prove di diagnosi per valutare il reale stato di salute degli elementi; è infatti possibile che alcuni fenomeni di degrado visibili dall'esterno, siano solo superficiali e non siano compromettenti per la stabilità della struttura.

Nel capitolo 6 di questo lavoro viene presentato uno strumento di indagine non distruttiva, il resistografo, con il quale poter effettuare in futuro prove mirate alla conoscenza del materiale costruttivo e del suo stato di conservazione, come previsto dalla normativa vigente. (Direttiva del 29 gennaio 2008, recante le linee guida per l'applicazione del DPCM del 12 ottobre 2007).



Fig. 4.11.1: in figura è mostrato un esempio di struttura rompi tratta in legno; si nota la presenza di macchie di umidità sull'intera struttura.



Fig. 4.11.2: *Macchie di umidità diffusa presenti anche sulle travi del tetto.*



Fig. 4.11.3. *In figura è mostrato un altro esempio di struttura rompi tratta in legno; si nota la presenza di macchie di umidità anche sui travetti che appoggiano sulle travi principali..*



Fig. 4.11.4: *Mensola in legno che migliora l'appoggio trave pilastro; si notano le grossa fessura longitudinale della mensola e macchie di umidità diffuse.*



Fig. 4.11.5: *Incastro trave-muratura; si nota che l' estremità della trave è marcia, con una conseguente diminuzione della sezione resistente.*

CAPITOLO QUINTO

IL LEGNO: CARATTERISTICHE DEL MATERIALE UTILIZZATO NELL'EDILIZIA

“Il legno a differenza degli altri materiali da costruzione nasce e cresce già come struttura in grado di resistere a notevoli azioni orizzontali e verticali” (Laner, 2005).

I materiali utilizzati in edilizia, quali i metalli, le pietre o i laterizi, sono normalmente coerenti, omogenei e isotropi; non presentano cioè cavità o spazi vuoti nel loro interno, non hanno forti differenze tra un punto e l'altro e manifestano lo stesso comportamento, qualsiasi sia la direzione in cui vengono sollecitati. Il legno si distingue dagli altri materiali da costruzione per la sua origine organica: esso possiede una struttura costituita da cellule cave che per disimpegnare le funzioni biologiche connesse con la vita dell'albero presentano forme e orientamenti peculiari e sono organizzate in tessuti rispondenti a diverse esigenze (Giordano, 1999).

L'insieme delle cellule e dei tessuti da esse formati non è soltanto condizionato spazialmente dai ritmi vegetativi dell'albero, ma è inoltre soggetto all'influenza di molteplici fattori quali il clima, la natura del suolo, la concorrenza della vegetazione circostante, le azioni della fauna e dell'uomo. Questi parametri determinano la formazione di tessuti tutt'altro che omogenei, vale a dire con proprietà intrinseche molto variabili.

Per il legno, a differenza degli altri materiali da costruzione le condizioni ambientali di posa in opera possono favorire alterazioni degradative o distruttive di origine biologica alle quali gli altri materiali non sono soggetti; al contrario però, questi possono venire deteriorati da forti sbalzi di temperatura o dall'azione di gas o di prodotti chimici diversi che entro certi limiti lasciano il legno inalterato. Le innegabili incertezze di comportamento dovute alle varie cause sopra indicate e in particolare la suscettibilità agli attacchi di funghi e di insetti, nonché la combustibilità hanno contribuito allo sfavore col quale molti progettisti guardano al legno come materiale da costruzione. Esistono però oggi tecniche di prevenzione e trattamenti

atti ad annullare, o almeno ridurre, i pericoli derivanti da tali cause (Giordano, 1999).

5.1.Specie legnose

Gli alberi esistenti in natura sono classificati, in base ai caratteri dei fiori e dei frutti, in due grandi categorie: le *Gimnosperme* e le *Angiosperme*: quest'ultime sono a loro volta suddivise in Monocotiledoni e Dicotiledoni. Alle Gimnosperme appartengono le Conifere (Abeti, Larici, Pini, Douglasia...) che comunemente sono indicate come Resinose, per la presenza di resina nel legno, o Aghifoglie per il particolare aspetto delle foglie allungate ed appuntite. Queste due denominazioni non sono però precisamente indicative, infatti esistono in natura alcune specie di Angiosperme che sono dotate di resina, e tra le conifere si possono individuare delle tipologie di alberi, il cipresso ad esempio, che hanno foglie quadriformi. Le Angiosperme Dicotiledoni comprendono specie arboree che, salvo rare eccezioni hanno foglie a lamina espansa: Querce, Faggi, Pioppi, Castagni ecc. sono per questo motivo denominate Latifoglie (Giordano, 1999).

I legni usati nelle costruzioni si distinguono in generale in: legni di Conifera e legni di Latifoglie.

In inglese vengono utilizzati i termini: “Softwoods” per i legni di conifera e “Hardwoods” per i legni di Latifoglie: anche in questo caso tali termini sono inesatti perché tra i primi ricadono alcune Conifere a legno duro, come il Larice ed i Cipressi, mentre tra i secondi devono annoverarsi delle latifoglie a legno tenero, come i Pioppi e i Salici.

5.2. Caratteristiche strutturali del materiale

L'albero è un laboratorio chimico capace di assorbire, tramite le *foglie*, l'anidride carbonica dall'atmosfera, restituire ossigeno e al contempo sintetizzare ciò che assorbe dal terreno tramite le *radici*, queste non solo assorbono le sostanze necessarie, ma realizzano l'attacco al suolo del *fusto*. Il fusto è protetto esternamente dalla *corteccia*, sotto la quale scorrono le

sostanze nutritive, perciò, ferite inferte alla corteccia, provocano la morte dell'albero (Laner, 2005).

Il legno è la materia prima fornita dagli alberi, organismi viventi formati da cellule di diverso tipo a seconda delle funzioni che svolgono. Gli insiemi di cellule dello stesso tipo sono chiamati *tessuti*.

I tessuti che costituiscono i fusti arborei sono:

- Il tessuto meccanico di sostegno composto da cellule fusiformi allungate disposte parallelamente all'asse longitudinale del fusto. Questo tessuto che occupa dal 60 all'80% del volume del fusto, assicura la resistenza alle sollecitazioni esterne, le quali possono ricondursi ad una compressione assiale o a sollecitazioni di flessione per effetto del vento;
- Il tessuto conduttore destinato alla conduzione dei succhi è formato da cellule di forma tubolare, orientate in direzione verticale, cioè parallelamente alle cellule del tessuto meccanico;
- Il tessuto parenchimatico o di riserva è invece designato per mettere a disposizione le sostanze necessarie per i fenomeni biologici connessi con la vita dell'albero: le cellule che compongono questo tessuto hanno forma prismatica con asse orizzontale maggiore e sono organizzate in nastri, detti raggi midollari, che decorrono in senso orizzontale dal midollo verso la periferia.
- Il tessuto secretore di resina o gomma, formato da cellule tubiformi allineate in condotti verticali, orizzontali e radiali (Giordano, 1999).

5.2.1. Gli anelli di accrescimento

Sia nelle conifere sia nelle latifoglie i fusti si formano e crescono grazie all'attività di uno strato generatore di cellule, detto cambio, che è interposto tra legno e corteccia. Tale attività non è continua durante tutto l'arco dell'anno, ma dopo aver raggiunto un massimo durante la primavera, decresce progressivamente nell'estate registrando un minimo nell'autunno ed interrompendosi del tutto in inverno. Questa periodicità della formazione del legno, si traduce in una diversità dimensionale delle cellule (fibre) del tessuto meccanico fondamentale: le fibre che si formano in primavera sono più grandi con ampie cavità interne e pareti sottili, col passare dell'estate e

dell'autunno le dimensioni delle cellule decrescono, il lume si fa più esiguo e le pareti aumentano il loro spessore. Le diversità strutturali dovute ai cicli stagionali propri dei climi temperati sono visibili nelle sezioni trasversali dei fusti come una successione di *anelli concentrici di accrescimento* a zone differenziate: più scure e compatte quelle di formazione autunnale (*legno tardivo*), chiare e porose quelle di formazione primaverile (*legno primaverile o primaticcio*) (fig. 5.1). Ogni anno si aggiunge un anello periferico e pertanto, l'analisi di questi anelli, è di rilevante interesse perché, se fatta alla base del fusto, consente di conoscere l'età della pianta e inoltre da indicazioni sulle modalità di crescita dell'albero: anelli stretti sono da imputare a suolo poco fertile, a stagioni di breve soleggiamento, basse temperature e scarse precipitazioni mentre anelli larghi denotano condizioni favorevoli: suoli fecondi, stagioni vegetative prolungate con temperature elevate e abbondanti precipitazioni (Giordano, 1999).



Fig. 5.1: Sequenza di anelli di crescita annuale; è visibile la differenza di colore tra legno tardivo (scuro) e legno primaverile (chiaro) (Laner, 2005).

Le relazioni tra il clima e l'ampiezza degli anelli sono oggetto di studio della *Dendrocronologia*, una disciplina che studia proprio le vicende climatiche del passato dall'analisi delle sezioni basali degli alberi in età avanzata.

Negli alberi delle regioni tropicali, in cui la vegetazione non subisce le interruzioni invernali tipiche delle zone temperate, ma può però rallentare o arrestarsi per cause non periodiche, l'apparizione degli anelli è una circostanza accidentale dalla quale non si può intuire l'età dell'albero. Per i

legnami impiegati nel nostro Paese, perlopiù costituiti da conifere, l'ampiezza degli anelli di accrescimento è un elemento di notevole importanza agli effetti della qualificazione e del giudizio di qualità del materiale (Giordano, 1999).

Anelli larghi indicano un rapido accrescimento, il che va a scapito del volume realmente occupato dalle pareti cellulari, della massa, nonché delle resistenze meccaniche che dipendono dallo spessore delle pareti.

5.2.2. Alburno e durame

Quando l'albero è in età giovanile, la circolazione della linfa avviene nell'intera sezione trasversale nel cui interno anche le cellule parenchimatiche sono pienamente attive. Col passare del tempo la circolazione dei succhi si sposta via via nella corona periferica esterna, mentre le cellule della parte centrale perdono la loro attività: in particolare muoiono le cellule parenchimatiche. Nei fusti di età avanzata è perciò possibile individuare due zone con caratteristiche diverse: la zona periferica esterna in piena attività caratterizzata da un colore chiaro, denominata *alburno*, e la zona interna che non svolge più alcuna attività alla quale è normalmente associato un colore scuro, detta *durame* (fig. 5.2). Quanto detto vale per i legni differenziati, mentre se non sono riscontrabili differenze di colorazione tra le due zone, si parla di legno indifferenziato. Oltre al colore, altre caratteristiche differenziano l'alburno dal durame: quest'ultimo è più duro e più pesante e presenta una maggiore resistenza alle alterazioni biologiche indotte da insetti e funghi. Ciò significa una maggiore durata nel tempo ed è per questo che è consigliabile utilizzare per gli elementi in legno di strutture portanti, travi e tavole private dell'alburno. Tra i legnami nazionali, sono indifferenziati gli Abeti, i Faggi, gli Aceri e le Betulle, mentre appaiono a durame nettamente distinto i Larice, i Pini, i Noce, le Querce e le Robinie.

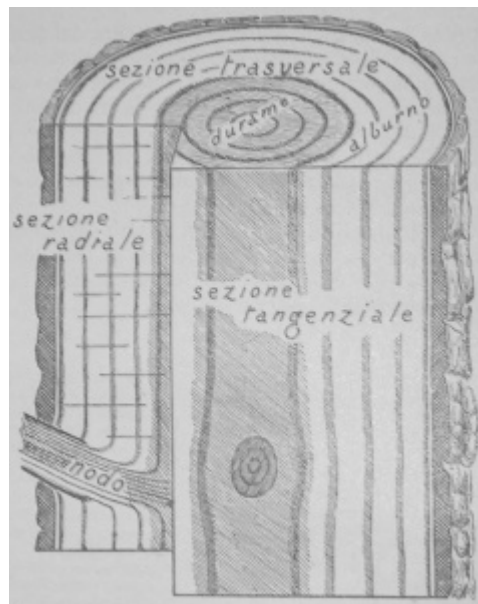


Fig.5.2: Ispezione schematica di ciò che appare all'occhio nelle varie sezioni di un tronco arboreo (Giordano, 1946).

5.2.3. Fibratura, tessitura e venatura

Questi tre termini vengono spesso utilizzati erroneamente come sinonimi, è perciò necessario specificare cosa indica precisamente la fibratura, la tessitura e la venatura.

- *Fibratura*: è la disposizione delle cellule del tessuto meccanico fondamentale nella loro successione spaziale: la fibratura normale è quella dritta e parallela all'asse longitudinale del fusto.
- *Tessitura*: è la grandezza degli elementi cellulari che costituiscono i tessuti: è un giudizio affidato all'occhio che può essere fine (Bosso), media (Larice, Abete e Pioppo) e grossolana (Rovere e Castagno).
- *Venatura*: è l'aspetto col quale compaiono sulle sezioni longitudinali gli anelli di accrescimento: nelle Conifere la venatura è sempre chiaramente visibile grazie alla differente colorazione tra la zona tardivo (scura) e quella primaverile (chiara); nelle Latifoglie invece la venatura è molto evidente se vi è un cerchio poroso di grandi vasi nella zona primaverile degli anelli.

5.2.4. Direzioni anatomiche fondamentali

Nella determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali isotropi si fa generalmente ricorso ad elementi cubici i cui spigoli non è necessario siano disposti secondo orientamenti definiti a priori. La stessa cosa non è però ammissibile con il legno. La sua anisotropia è dovuta alla formazione secondo un modello strutturale derivante da cellule allungate nella direzione dell'asse arboreo, addossate le une alle altre dal midollo verso la periferia, nella direzione dei raggi della sezione trasversale del fusto, formando degli strati a corona circolare, ogni punto dei quali può essere considerato come l'inizio di una tangente agli anelli di accrescimento. Sono dunque le tre direzioni anatomiche fondamentali (assiale, radiale e tangenziale) del legno, lungo le quali devono venire considerati i vettori delle caratteristiche proprie del legno nonché le forze esterne ad esso applicate. "Il legno è un materiale a tre assi perpendicolari di simmetria elastica che consentono di trattarlo analiticamente come un sistema cristallino rombico dotato di due piani di simmetria: longitudinale radiale e longitudinale tangenziale" (Voigt, 1928).

5.3. Difetti ed alterazioni degradative del legno

I fattori che contribuiscono a deteriorare il legno tanto da renderne meno pregiata la qualità sono molteplici (Menicali, 1992).

Per *difetti* del legno si intendono le sue deviazioni dalla normalità sia della struttura che delle caratteristiche fisiche e meccaniche sotto l'influenza di cause varie, che possono imputarsi alle condizioni meteorologiche ed ambientali avverse, come la mancanza di insolazione, la persistenza del gelo, la morfologia accentuata e la qualità sfavorevole del terreno, o di cause accidentali varie (Menicali, 1992). Alcuni dei fenomeni di degrado sono causati da guasti derivati dall'uomo o dagli animali che provocano lesioni e distacchi della corteccia fino ad intaccare le parti più interne del tronco; questi danni possono essere di entità tali da provocare l'alterazione del legno favorendo l'ingresso dell'umidità e l'aggressione da parte di funghi, muffe e insetti. Le modificazioni indotte da questi agenti biologici prendono il nome di *alterazioni degradative*, e si esplicano con cambiamenti

nella composizione chimica delle pareti cellulari, demolizioni delle stesse e conseguenti interruzioni di continuità. (Giordano, 1999)

Sia i difetti che le alterazioni portano ad uno scadimento delle caratteristiche del legno e conseguentemente del suo valore di mercato. È perciò necessario conoscere le cause che ne sono all'origine, come queste si presentano, e se possibile prevenirle o porvi rimedio (Giordano, 1999).

I sistemi impiegati in passato per determinare i difetti e i pregi del legname risultano tuttora validi e si basano in modo particolare sull'osservazione dell'albero in piedi e sui caratteri ambientali in cui vive. Tra questi è importante la natura del terreno, che in difetto di sostanze nutritive, determina una crescita lenta e una maggiore propensione alle malattie e all'attacco dei parassiti. La presenza d'acqua e il suo ristagno attorno alle radici provoca una forma d'asfissia con scarsa crescita e rapido deperimento della pianta; la presenza di una falda troppo vicina alla superficie del terreno è indice di scarsa nutrizione, il legno è poroso con minore compattezza delle fibre. La pendenza del versante influenza quasi sempre la forma dei tronchi: su un terreno ripido è facile trovare alberi con cuore eccentrico e sezione trasversale di forma ellittica o allungata; il difetto è abbastanza diffuso e può dipendere anche dalla presenza di forte vento dominante o da una parziale mancanza di insolazione. Il legno che si ricava da questi tronchi è inadatto alla costruzione delle travi, ma può trovare applicazioni tagliato in pezzi di limitata dimensione per opere di non rilevante importanza (Menicali, 1992).

5.3.1. Difetti

Cipollature

Oltre che dall'ambiente in sé e per sé, altitudine sul livello del mare, pendenza, esposizione e feracità del suolo, le caratteristiche del legno possono essere fortemente influenzate dall'andamento climatico e dalla gestione della foresta.

Può accadere che dopo un certo numero di anni caldi con abbondanti precipitazioni, a cui corrisponderà una formazione di legno con anelli larghi, segua una successione di anni freddi ed asciutti durante i quali gli anelli risulteranno molto più sottili, si troveranno a contatto due corone circolari

con caratteristiche di compattezza, massa volumica ed elasticità, molto diverse. I fusti arborei che si trovino in queste circostanze, se sottoposti all'influenza di colpi di vento, o di altre sollecitazioni possono essere soggetti a distacchi parziali o totali fra le due zone, determinando si una soluzione di continuità che viene chiamata *cipollatura* (fig 5.3) (questo fenomeno è molto evidente nel nostro paese nel Castagno e nell'Abete bianco). Anche se non si arriva a dei distacchi completi tra gli anelli, l'eterogeneità dei loro spessori è un comunque un difetto tecnologico, soprattutto agli effetti del ritiro, questa disformità tra le due zone può comportare negli assortimenti lavorati a dei veri e propri distacchi (Giordano, 1999).

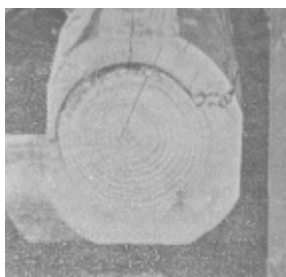


Fig. 5.3: *Cipollatura in una trave di abete bianco (Giordano, 1946).*

Anche la gestione a cui è sottoposta la foresta dalla quale provengono gli alberi incide fortemente sulla struttura dei tessuti legnosi e sulla possibilità di cipollature. Se nel periodo di sviluppo degli alberi si effettuano diradamenti razionali, mantenendo costante la distanza tra gli alberi e il loro diametro a petto d'uomo, gli anelli risulteranno regolari con spessore costante. Al contrario a diradamenti incostanti nel tempo corrisponderanno strati di anelli più stretti (mancato disboscamento), seguiti da altri più larghi (ripresa del diradamento).

Ferite e fratture

Le lesioni derivanti da ferite che interrompono la continuità dei tessuti, e che inducono perciò una sostanziale riduzione della sezione resistente, deprezzano in maniera evidente i tronchi destinati alla segagione o alla sfogliatura. Agli effetti della segagione in tavole il pregiudizio è particolarmente grave quando i tronchi sono affetti dai *cretti da gelo* che si

manifestano con una fenditura longitudinale lunga di solito 2-3 m e penetrante fino al midollo che rendono l'alburno facilmente attaccabile dai parassiti (Giordano, 1999). Al gelo è da imputare anche la *lunatura* o *doppio alburno*, in cui uno o più strati esterni non si trasformano in durame per effetto della morte delle cellule, ma formano una corona di legno imperfetto circondata da nuovi strati di materiale sano (Menicali, 1992).

Particolarmente dannose, per i legnami da costruzione, sono le *fratture da vento* che, provocano la rottura delle fibre lungo una porzione di sezione trasversale. Negli anni successivi la ferita si cicatrizza e dopo qualche tempo non è più visibile dall'esterno, nella zona interna del tronco rimane però comunque aperta e questo può costituire un serio pregiudizio per materiale da destinare alle costruzioni. Altro tipo di interruzione nella continuità dei tessuti è costituito dalle *tasche di resina*, che sono delle cavità schiacciate, per lo più di modesta dimensione, decorrenti tangenzialmente lungo parte del limite tra due anelli annuali successivi. Questa tipologia di difetti non influenza particolarmente l'impiego del materiale per strutture portanti, mentre per usi di falegnameria deprezzano notevolmente il legno sia per le irregolarità superficiali che ne possono derivare, sia per il possibile trasudamento della resina per effetto dell'esposizione ai raggi solari o per il riscaldamento domestico.

Deviazione della fibratura

In fusti provenienti da foreste di alta quota o soggetti a forti venti è facilmente riscontrabile un difetto particolare, la *fibratura elicoidale*: le fibre dell'albero in piedi non mantengono una direzione rettilinea parallela all'asse del fusto, ma si susseguono secondo un'elica con un passo talvolta molto piccolo. Nei tronchi scortecciati, nei quali la stagionatura avanzata mette in evidenza sottili fessurazioni nel senso delle fibre, l'andamento elicoidale è facilmente rilevabile. Nelle tavole e nelle travi la direzione della fibratura si palesa per mezzo delle fessurazioni e fenditure che hanno una certa angolazione rispetto agli spigoli longitudinali. Da questo difetto derivano forti riduzioni delle caratteristiche di resistenza meccanica, è perciò

assolutamente necessario tenerne conto nella qualificazione del legname da costruzione (Giordano, 1999).

La deviazione della fibratura porta al cosiddetto *controfilo* che costituisce un serio inconveniente all'atto delle lavorazioni. Quando si presenta tale anomalia i ferri non tagliano le fibre lungo la loro dimensione longitudinale, ma le aggrediscono di sbieco; si otterranno perciò due superfici completamente diverse, una risulterà liscia, mentre l'altra apparirà scabra e pelosa, di levigatura cioè assai malagevole (Giordano, 1999).



Fig.5.4: Esempio di fibratura fortemente irregolare in un frammento di legno di *Eucalipto* (Giordano, 1999).

Oltre a questi tipi di deviazione delle fibratura ne esistono molti altri, basti pensare che in corrispondenza delle inserzioni dei rami, ovvero dei nodi, ma anche attorno a qualsiasi corpo estraneo che si inserisce nel fusto durante la sua vita, l'allineamento delle fibre si adatta all'ostacolo circondandolo e ciò determina un indubbio scadimento delle caratteristiche di resistenza (Giordano, 1999).

Nodi

Si definiscono nodi le inserzioni dei rami nei fusti arborei, se si considera l'albero come organismo vivente, non è molto corretto considerare i nodi come difetti in quanto non esistono in generale alberi, che siano conifere o

latifoglie, senza rami. Se si intende però, il fusto come fonte di assortimenti appare evidente che la presenza dei nodi porta a uno scadimento del valore del legname sotto tre diversi punti di vista. Il primo è di natura estetica in quanto nelle superfici longitudinali sia delle travi che delle tavole i nodi hanno un colore diverso dal legno circostante e spesso contengono delle fessurazioni. In secondo luogo, il legno dei rami è estremamente duro, in genere molto di più del legno del fusto, ne consegue una difficile lavorazione in particolare nella piallatura. L'ultimo aspetto, e anche il più importante, concerne gli impieghi costruttivi del legno: la presenza di nodi rappresenta una menomazione che può pregiudicare in modo serio le resistenze meccaniche (Giordano, 1999).

I nodi possono presentarsi con posizioni, forme, dimensioni e caratteristiche molto diverse. Anche se i rami decorrono tutti in direzione radiale, i vari orientamenti con i quali si presentano le facce dei segati determinano le forme particolari dei nodi. Nelle sezioni radiali appaiono sezionati per il lungo col tipico aspetto a *baffo* (fig. 5.5), con forma di fuso arcuato con l'apice rivolto verso il centro della pianta mentre nelle sezioni tangenziali appaiono rotondeggianti o ellittici a seconda che la faccia sia normale o obliqua all'asse del ramo: nel tavolame con spessore modesto, questi nodi sono spesso *passanti*, attraversano cioè tutto lo spessore.



Fig. 5.5: Esempio di nodo a baffo, in una sezione radiale di un tronco (Giordano, 1946).

Infine, i nodi molto piccoli, derivanti da rami abortiti dopo 1 o 2 anni vengono chiamati a *spillo o ad occhio di pernice* (Giordano, 1999).

Se i nodi sono prodotti da rami vegeti, rimangono fissi perché strettamente legati al tessuto legnoso, se invece, sono prodotti da monconi, o da rami tagliati o spezzati, si trasformano in un ostacolo attorno al quale si modelleranno i successivi anelli del fusto, la corteccia avrà perciò la funzione di una membrana che separa il legno vivo dal legno morto. In questo modo i nodi diventano mobili e dopo la stagionatura si staccano lasciando un foro nel legname (Menicali, 1992).

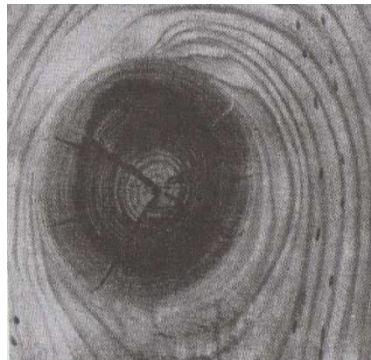


Fig. 5.6: *Nodo “aderente”, cioè senza inclusione di corteccia tra il legno del fusto e del ramo. Durante la stagionatura il ritiro tangenziale della sezione del ramo superiore al ritiro stesso, provoca delle fessurazioni a stella (Giordano, 1999).*

I nodi possono spesso interferire sull’andamento delle fibre, infatti è vero da un lato che i tessuti legnosi non subiscono interruzioni, ma è anche vero che questi devono adattarsi alle inserzioni, e cioè ai nodi. Ne deriva perciò una deviazione localizzata della fibratura che comporta una sensibile diminuzione della resistenza alla trazione, alla flessione e all’urto (Giordano, 1999).

5.3.2. Alterazioni degradative

Oltre al degrado strutturale vero e proprio, di cui fanno parte le rotture, le sconnessioni, eccessive deformazioni, delaminazioni, ecc, le strutture lignee sono esposte anche ad un altro tipo di degrado, talvolta meno appariscente,

difficilmente quantificabile, direttamente collegato con la natura organica del materiale: il degrado biologico, la cui gravità è in stretto rapporto con la sua estensione e posizione nella struttura.

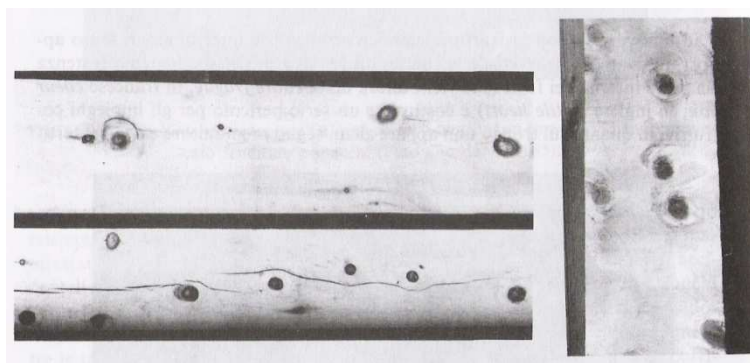


Fig.5.7: *In alto a sinistra: presenza normale di nodi in una tavola che da essi non viene pregiudicata nelle sue caratteristiche di resistenza; in basso: tronco scortecciato con abbondante nodosità.; a destra : “Nido di nodi” molto ravvicinati possono minare la resistenza della tavola (Giordano, 1999).*

Il degrado biologico è per lo più ad opera di organismi parassiti, quali insetti, funghi, batteri e muffe, ed è questo uno dei motivi per i quali il legno è poco utilizzato come materiale da costruzione. I danni provocati dai parassiti del legno sono innumerevoli e possono avvenire sia quando la pianta è in piedi che sul legname accumulato nei depositi di stagionatura oppure dopo l'impiego (Menicali, 1992).

Insetti

Gli insetti che attaccano il legno sono comunemente chiamati *tarli*; tale denominazione è del tutto generica e copre decine di specie diversissime per aspetto, dimensioni biologica e modalità di attacco. Una prima distinzione si effettua tra organismi *parassiti*, che si sviluppano a spese dell'ospite vivente ed i *saprofiti* che si insediano e vivono a spese di ciò che permane dell'ospite dopo la sua morte (Giordano, 1999).

I parassiti sono numerosissimi, attaccano il legno scavando delle gallerie al suo interno determinando un forte scadimento del materiale.

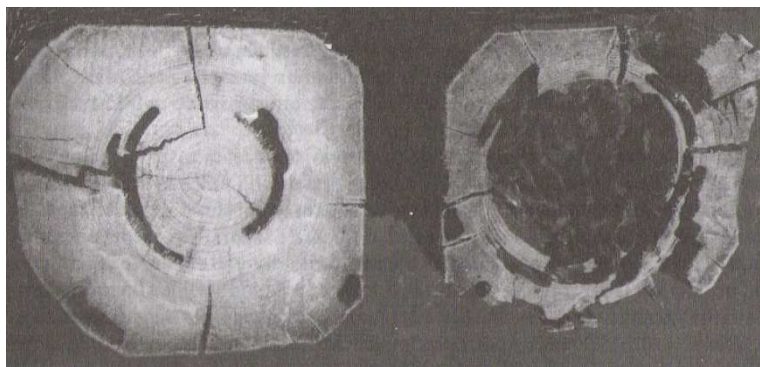


Fig.5.8: Sezione di due fusti di conifera attaccati dalle Formiche del legno (Giordano, 1999).

Solitamente questi organismi muoiono quando la pianta viene abbattuta, ma comunque non peggiorano la situazione dopo che il legname viene posto in opera, poiché impossibilitati a compiere tutto il loro ciclo biologico dal momento che, stagionandosi, il legno che li ospita diminuisce la sua percentuale di umidità. I saprofiti, anch'essi numerosi, possono scavare le loro gallerie per due diverse esigenze biologiche: utilizzare il legno come nutrimento (insetti xilofagi) (fig.5.14), oppure creare in esso delle cavità che rappresentino un ambiente confortevole per la loro vita. Gli insetti Xilofagi attaccano il legno dall'esterno deponendo le uova nelle fessure o in appositi fori preparati; quando le larve si sviluppano, scavano delle gallerie scavano delle gallerie di dimensioni variabili nelle zone legnose più tenere e meno compatte. Questi insetti, si nutrono sostanze zuccherine che si trovano nell'alburno, perciò sono meno attratti dal durame che è la parte preponderante della sezione degli elementi strutturali. Tali attacchi non comportano perciò una riduzione della sezione tale da compromettere la stabilità strutturale (Menicali, 1992).

Gli insetti che a vario titolo attaccano il legno in opera nel nostro paese appartengono principalmente all'ordine dei coleotteri, imenotteri e isotteri, con sporadici esempi di lepidotteri come ad esempio il gigantesco *Perdilegno rosso* (Laner, 2005).

Tra gli insetti parassiti i più frequenti e i più conosciuti sono, come già detto, il *Perdilegno rosso*, che attacca più violentemente il legno in piedi, la

Cerambyce delle querce (coleottero), le formiche del legno (imenotteri) (fig. 4.8), le Termiti (isotteri), le vespe del legno (imenotteri): la grande *Sirex gigas* che attacca il legno appena tagliato, ma più difficilmente il legno in opera, specialmente se stagionato, a causa della ridotto contenuto di umidità, necessario per far vivere i funghi con cui vive in simbiosi (Giordano, 1999). Tra i saprofiti, che deteriorano tronchi abbattuti o materiale già posto in opera, il *Capricorno delle case* (fig. 5.10) è certamente il più distruttivo, predilige i legni di Conifere e l'unico segno visibile dell'infestazione è la presenza di mucchietti di rosura in corrispondenza dei fori di ingresso delle gallerie. Queste, confluyendo tra loro, creano delle cavità separate dall'esterno da un sottilissimo strato di superficie apparentemente intatta, è sufficiente esercitare una pressione superficiale, manuale o con un martello, per determinare lo sfondamento della parete esterna.



Fig. 5.9: Strie di rosime giallastro su una trave attaccata da Anobidi (Laner, 2005).

Un'altra tipologia di insetto saprofito è il *tarlo dei mobili (coleottero)* che non attacca solo i mobili d'arredamento, ma predilige anche gli elementi costruttivi, nei quali però le piccole dimensioni delle gallerie non pregiudicano la stabilità delle strutture.

Infine si possono trovare anche *lictidi* appartenenti sempre all'ordine dei coleotteri, questi sono insetti tipici dei legnami delle zone tropicali.

I danni degli insetti dipendono principalmente dalla profondità degli attacchi e dalla relativa riduzione della sezione. È dunque necessario scattivare la trave e verificare la sezione residua (Giordano, 1999).

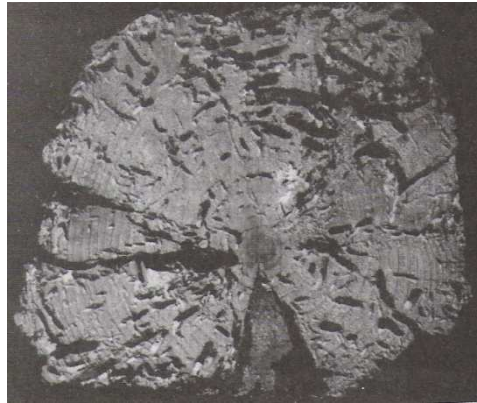


Fig. 5.10: Sezione trasversale in una trave di abete fortemente attaccata dal Capricorno della casa (Giordano, 1999).

Funghi

Il legno posto in opera in ambienti umidi è facilmente attaccabile dall'azione di funghi, batteri e muffe che si sviluppano in queste condizioni. Funghi e batteri sono organismi parassiti privi di clorofilla che vivono a spese di materiali organici già elaborati. I funghi si riproducono tramite le *spore*, che possono essere facilmente trasportati dall'aria e depositi su qualsiasi superficie. Quando si depositano sopra legno sufficientemente umido a temperatura non troppo bassa possono germinare dando luogo a filamenti (le *Ife*) i quali trasformano le pareti cellulari del legno in sostanze nutrienti per il loro sviluppo. Le ife perforano perciò le pareti stesse del legno insinuandosi nei tessuti che cominciano così a degradarsi. La prima fase dello sviluppo successivo alla germinazione delle spore è accompagnata da un cambiamento del colore normale del legno, si parla di semplice alterazione cromatica che non è sempre indice di diminuzione della resistenza meccanica (ad esempio azzurratura del legno di Pino), ma costituisce esclusivamente un danno estetico. Altre volte questa alterazione (rosatura del legno delle Conifere, grigiatura del faggio) indica un attacco assai più avanzato che proseguirà fino alla distruzione vera e propria che potrà apparire in forme molto diverse fra loro: *carie bruna*, distrugge soprattutto la cellulosa, lasciando intatta la lignina, che ha appunto questo colore bruno marrone; *carie bianca*, distrugge la lignina e il legno assume un aspetto

stopposo e si sbriciola; *carie a cubetti*, residuo ridotto in volume con bassa consistenza; *carie alveolare*, la massa si trasforma in una specie di spugna con cavità contenenti fiocchi bianchi di cellulosa. Ed infine si può parlare di *carie soffice* che è tipica del legno immerso in acqua.



Fig.5.11: Travi lamellari interessate da batteri, funghi dell'azzurramento ed altri cromogeni. Ancora non c'è perdita delle capacità meccaniche, ma non tarderanno ad insediarsi altri funghi che porteranno al marcimento della testa (Laner,2005).

Il materiale legnoso che ha subito questo degrado non è più adatto a svolgere alcuna funzione portante, si deve perciò prevenire l'attacco dei funghi xilofagi se si vuole utilizzare il legno per scopi costruttivi. Bisogna perciò assicurarsi che il legno si trovi in condizioni di umidità tali da non permettere l'attacco di questi parassiti; si utilizzano antisettici capaci di impedire la germinazione delle spore, che devono penetrare all'interno delle superfici a contatto con l'aria e non essere né dilavabili né chimicamente instabili (Giordano, 1999).



Fig. 5.12: Attacco fungino su mensola che ha di fatto vuotato l'elemento, facendo abbassare l'intera capriata (Laner, 2005).



Fig. 5.13: Distruzione del legno da parte dei funghi. La struttura si regge perché sostenuta da elementi trasversali, non inquadrati (Laner, 2005).



Fig. 5.14: Testa di una capriata attaccata da funghi e insetti xilofagi (Laner F., 2005).

Muffe

La muffa è un micelio fungino presente sulla superficie dei materiali organici in condizioni di grande umidità dell'ambiente. Non comporta di solito danneggiamenti alle caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali, ma generando alterazioni cromatiche, provoca esclusivamente danni estetici. Possono però essere eliminate semplicemente con un trattamento antimuffa, e successiva spazzolatura (Laner, 2005).

Batteri

I batteri sono organismi microscopici, unicellulari o pluricellulari di dimensioni estremamente piccole (qualche μ), sono privi di clorofilla e perciò sono obbligati a trarre dai materiali organici le sostanze necessarie per il loro sviluppo. Anche i batteri si possono dividere in parassiti e saprofiti.

Si riteneva, fino a qualche tempo fa che gli attacchi dei batteri non portassero ad una sensibile diminuzione delle caratteristiche meccaniche del legno invasato, ma eventi recenti hanno posto in forse tale opinione.

Accertare se un legno è attaccato dai batteri non è così semplice se ci si avvale esclusivamente dell'osservazione oculare diretta, ma sono necessarie per una discreta diagnosi esami in laboratori convenientemente attrezzati.

Per la prevenzione da tali attacchi si possono dare solo indicazioni di massima: non lasciare i tronchi abbattuti esposti alle intemperie e soprattutto per lunghi periodi sotto la neve; provvedere sollecitamente alla segagione e ad una accurata essiccazione artificiale; trattamenti superficiali con antisettici efficaci, messa in opera in ambienti non umidi e nei quali non siano da temere le infiltrazioni d'acqua attraverso le murature o per sconnessioni nelle coperture del tetto (Giordano, 1999).

Dove una trave sia stata attaccata da funghi o batteri, è facilmente riscontrabile dalla differente cromia del legno. I primi posti da verificare sono sempre le testate delle travi negli appoggi sul muro. Le connessioni legno-muratura, se non eseguite a regola d'arte, ovvero se non permettono un buon circolo dell'aria, sono causa di aumento dell'umidità, per condensa,

per infiltrazione o per risalita capillare. Con l'umidità, come abbondantemente spiegato, si creano le condizioni favorevoli allo sviluppo di questi microrganismi. Anche l'estradosso delle travi è spesso trascurato dalle indagini visive, infatti spesso ci si accontenta di osservare esclusivamente le tre facce a vista della trave (Laner, 2005).

5.4. Lavorazione delle travi

Il fusto degli alberi atterrati rappresenta la materia prima per la produzione di elementi semplicemente squadrati oppure di segati, termine con cui vengono indicati in genere tutti i pezzi parallelepipedi anche di sezioni diverse ottenuti dal tronco (Menicali, 1992).

Queste operazioni di prima lavorazione sono effettuate subito dopo l'abbattimento dell'albero, oppure passato un certo periodo di stagionatura del fusto solo scortecciato e privato dell'alburno; non richiedono un elevato grado di finitura delle superfici e di precisione delle misure, che possono variare notevolmente e in maniera non sempre prevedibile durante la fase di stagionatura. Le travi in legno possono essere ricavate dal tronco con segagioni profondamente differenti, originando così elementi strutturali con caratteristiche fisico meccaniche diverse.

Quando si vogliono ottenere travi rotonde *tondoni*, oppure pali e *antenne* è sufficiente che il fusto venga spogliato dalla corteccia e dalla porzione di alburno fino a raggiungere le parti dure del tronco.

Questi elementi non sono ovviamente cilindrici, bensì tronco-conici, hanno il grande pregio della continuità delle fibre e di conseguenza mantengono l'integrità statica del tronco originario. Dal punto di vista della durabilità sono meno vulnerabili perché non ci sono cellule e vasi aperti. Se però da una parte l'integrità della struttura comporta il totale sfruttamento delle caratteristiche fisico-meccaniche, dall'altra sono evidenti i limiti costruttivi della sezione variabile e circolare.

In carpenteria prevale però la necessità di avere pezzi di legno a profilo quadrato o rettangolare, sia per motivi estetici, che per ottenere un migliore

accostamento tra i vari elementi; l'operazione che trasforma i tronchi in lunghi parallelepipedi di forma più o meno regolare è la **squadratura**.

Questa lavorazione si esegue con strumenti abbastanza semplici, come la *scure da squadratori a lama tagliente, o l'ascia*. Questi due attrezzi, se ben utilizzati, più che tagliare il legno, separano le fibre staccandole con un taglio obliquo che segue la sinuosità della struttura in legno.

La lavorazione si riconosce dalla successione di incavi poco profondi sul piano di taglio della trave. Si ottengono, con questa lavorazione, tronchi debolmente squadrate che seguono il profilo tronco conico; e che prendono il nome di travi “*uso Fiume*” e “*uso Trieste*”. Nell’“uso Trieste” la sezione longitudinale è tronco conica, quindi c’è una testa, più grossa ed una coda. Nell’“uso Fiume” la sezione è pressoché parallelepipeda e le sezioni di area costante. L’“uso Trieste” oltre ad essere poco invasivo nel taglio preparatorio mantiene le caratteristiche meccaniche molto alte, a discapito però di qualche accorgimento particolare di posa ed impiego. Ad esempio in un solaio con travi di questo tipo, bisogna alternare una testa e una coda. Tali travi sono impiegate in ambienti rustici, in strutture di deposito e lavoro e per tetti di abitazioni non a vista. La maggiore regolarità delle travi di “uso Fiume” fa sì che queste vengano utilizzate per lavori di maggior pregio.

La squadratura a spigoli rettilinei e netti (a filo vivo) si effettua con la sega: il tronco viene tagliato in modo tale da ricavare travi a sezioni costanti, squadrate, ma più spesso rettangolare; le travi così ottenute si chiamano *travi a quattro spigoli*. (La sezione rettangolare è quella che ottimizza il rapporto base/altezza in 0,7, tale rapporto rende massimo il modulo di resistenza $W = \frac{1}{6} bh^2$, e quindi minime le tensioni dovute alla flessione $\sigma = \frac{M}{W}$ a parità di sollecitazione e di area di legno). Gli spigoli possono essere vivi o smussati, si tende ad evitare di mettere in opera travi a spigoli vivi sia perché sono indice di poca rifinitura e di sciatteria. Le travi a quattro spigoli possono contenere tutto il durame, ovvero il midollo (travi con cuore), oppure essere ricavate da metà tronco, o da quarti (fuori cuore, o con cuore spaccato) (Laner, 2005). A differenza del lavoro compiuto con la

scure, la squadratura a sega permette sempre di ottenere agevolmente piani regolari e spigoli vivi rettilinei, salvando nello stesso tempo i quattro legni laterali piano-convessi che possono essere utilizzati così come sono oppure per ricavare assicelle o listelli (Menicali, 1992).

I tronchi possono anche essere ridotti in **segati**; la segagione dei tronchi risulta l'unico sistema adatto a tutte le essenze arboree quando si vuole ricavare dal fusto non più un solo elemento di grandi dimensioni, ma diversi pezzi del medesimo spessore oppure di forme e misure assortite.

I tronchi destinati ad essere segati possono essere dapprima ridotti in forma parallelepipedica in modo che le tavole risultino parallele a una delle facce, ma più spesso, per sfruttare appieno il materiale, i tagli vengono eseguiti direttamente sul fusto solo scortecciato e a volte privato dell'alburno. La riduzione del tronco in pezzi segati deve tener conto anche del diverso comportamento del legno nelle varie direzioni della sezione trasversale; per questo esistono varie modalità di taglio in funzione del ritiro e delle deformazioni che il legno presenterà dopo l'essiccamento (Menicali, 1992).

Ogni sistema di taglio può ricondursi ad alcuni schemi fondamentali da applicare secondo il tipo di legno, l'uso del pezzo e il valore del materiale. Il più usuale è quello a piani paralleli separati da tagli tangenziali rispetto al fusto. Questo semplice procedimento genera però un'unica tavola in cui gli anelli di accrescimento sono paralleli, per cui, dopo l'essiccamento questa tavola centrale avrà una minima deformazione. Tutte le altre tavole tagliano gli anelli di crescita a livelli diversi; le tavole laterali al mezzone sono soggette all'imbarcamento durante la stagionatura, la deformazione aumenta proporzionalmente alla distanza dalla tavola centrale.

5.5. Umidità: stagionatura ed essiccazione

Nel legno degli alberi viventi, e in quello lasciato all'aria libera subito dopo l'abbattimento, è sempre presente l'acqua libera all'interno delle cellule, sotto forma liquida o di vapore. L'insieme di questi modi in cui è presente l'acqua nel legno costituisce la sua *umidità* che viene indicata in forma percentuale dal rapporto tra l'acqua contenuta e il peso anidro del legno.

Per conoscere il comportamento del legno sia nelle costruzioni che nei lavori di falegnameria è necessario conoscere quale relazione esiste tra l'umidità del legno nell'albero vivente e dopo che lo stesso è stato abbattuto e ridotto in assortimenti (tavole, travi, ecc.). La linfa che circola nell'albero ancora in piedi mantiene nel legno un'umidità molto elevata; una volta che l'albero è stato abbattuto e ridotto in assortimenti la superficie esterna di questi viene a contatto con l'aria la quale, a sua volta, avrà un certo contenuto di umidità relativa. Tra le due umidità, del legno e dell'aria, si viene a creare un equilibrio mediante un'evaporazione superficiale che, a sua volta determina una lenta migrazione dell'umidità dall'interno verso la superficie del fusto. Questo fenomeno che prende il nome di *stagionatura* del legno, non determina una completa perdita dell'umidità del legno, ma porta ad una semplice equilibratura di questa con l'umidità dell'aria. Il raggiungimento di tale equilibrio non è definitivo; il desorbimento naturale è infatti reversibile anche per legni che si siano equilibrati da secoli con un certo ambiente, se l'aria aumenta la sua umidità, il legno tenderà ad assorbirla fino al raggiungimento di un nuovo equilibrio.

La stagionatura del legname tagliato si effettua prima della posa in opera per eliminare il più possibile l'umidità iniziale e ridurla a valori talmente bassi da non influire sulla qualità del materiale. Il legno fresco, esposto all'aria in condizioni normali, con temperatura di circa 20° e umidità relativa del 60-65%, assume una umidità di equilibrio del 12% del peso anidro: questa è convenzionalmente definita *umidità normale del legno*. Per legno esposto alle variazioni igrometriche dell'ambiente esterno, si considera un equilibramento tra il 15 e il 18%, mentre per locali chiusi e riscaldati durante l'inverno si scende fino a 10-8%; infine per legno da costruzioni stradali, idrauliche e navali non vi è alcuna necessità di stagionatura del legno prima della messa in opera.

I motivi che rendono necessaria la stagionatura, sono principalmente tre, del tutto diversi, ma di pari importanza:

- evitare forti variazioni dimensionali per effetto di possibili modificazioni dello stato igrometrico dell'aria;

- porre il legno nelle migliori condizioni di resistenza alle sollecitazioni meccaniche;
- aumentare la durabilità naturale del legno nei confronti di attacchi da funghi e insetti.

Stagionatura naturale e artificiale

La stagionatura naturale avviene per lenta evaporazione dell'umidità, fino a che il legno non raggiunge il livello di equilibrio e i succhi sono privati della principale causa di alterazione. Per ottenere migliori risultati, tutte le facce dei materiali squadrati o segati devono rimanere esposte all'aria e al riparo da intemperie, dall'azione diretta del sole e dall'umidità del terreno.

La stagionatura artificiale si utilizza poco per i materiali da costruzione, mentre è impiegata con profitto sui legni per la fabbricazione di mobili.

Per accelerare i lunghi tempi richiesti dalla stagionatura all'aria aperta, la quale non consente mai al legno di raggiungere umidità al di sotto dell'11-12%, si ricorre all'essiccazione artificiale la quale può essere condotta con vari sistemi (ad aria calda, a depressione, a condensazione ecc) i quali portano ad ottimi risultati in tempi molto più brevi.

5.5.1. “Movimenti” del legno per effetto di variazioni della sua umidità

La caratteristica forma allungata delle cellule del legno, il loro orientamento nello spazio, e la modalità della loro formazione per anelli successivi sono alla base dell'anisotropia del legno; il modo più evidente in cui detta peculiarità si palesa è la diversità dei “movimenti” del legno nelle tre direzioni anatomiche.

Nel legno degli alberi viventi, le cellule sono riempite di linfa e ciò fa sì che tra di esse non esista alcuna discontinuità, inoltre anche le pareti cellulari sono sature d'acqua. Dopo l'abbattimento dell'albero, l'acqua libera all'interno delle cavità cellulari diminuisce progressivamente col passare del tempo fino a scomparire, mentre sarà ancora presente l'umidità connessa alle pareti cellulari. Questo punto di passaggio obbligato è detto *punto di saturazione totale delle pareti cellulari*, in cifre corrisponde ad una umidità percentuale compresa tra il 30 e il 35% del peso anidro del legno.

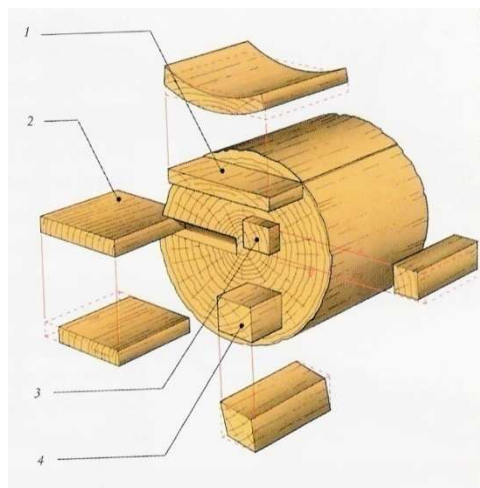


Fig. 5.15: Assortimenti ricavabili dal tronco: 1. Le assi larghe si ritirano e si imbarcano. 2 e 3. Assi e morali con deformazioni ridotte perché ricavate da una sezione radiale. 4. Le sezioni quadrate attraversate diagonalmente dagli anelli di crescita si deformano in modo elicoidale (Laner, 2005).

L'importanza di questo salto è evidente perché fino a che l'umidità reale non scende al di sotto di tale valore, le dimensioni del campione di legno restano immutate in tutte le direzioni, proseguendo invece la stagionatura, si assiste all'eliminazione dell'umidità connessa alle pareti cellulari con conseguenti diminuzioni dimensionali diverse nelle tre direzioni anatomiche. I valori di dette variazioni, definite *ritiri*, possono essere indicati come segue:

- Nella direzione assiale (lungo le fibre) inferiore all'1%;
- Nella direzione radiale dal 3 al 6%;
- Nella direzione tangenziale dal 5 al 12%.

È bene ricordare che i fenomeni di ritiro sono reversibili, vale a dire che le dimensioni raggiunte dal legno che ha subito un'essiccazione non sono immutabili, infatti se questo viene esposto in aria umida si inverte il "movimento" e il legno si *rigonfia*. Anche se tali variazioni dimensionali connesse al desorbimento e il riadsorbimento non siano perfettamente coincidenti, all'atto pratico possono essere considerate di pari entità.

Le conseguenze pratiche dei “movimenti” del legno dovuti alla variazione dell’umidità sono diverse a seconda della tipologia di assortimento dinanzi cui ci troviamo.

Tavole

La diminuzione dell’umidità propria del legno fresco oltre ai ritiri, determina delle deformazioni che variano di aspetto e di entità a seconda di come i pezzi sono orientati rispetto agli anelli di accrescimento (fig. 5.15).

Le tavole tagliate esattamente lungo una direzione radiale durante il ritiro da stagionatura subiscono unicamente delle riduzioni dimensionali mantenendo la loro originaria orientazione piana, la stessa cosa non accade invece per le tavole tagliate tangenzialmente, queste infatti si curvano con concavità verso l’esterno dando luogo al cosiddetto “imbarcamento”, tale fenomeno sarà tanto più pronunciato ed evidente, quanto più la tavola è stata tagliata lontano dal midollo (Giordano, 1999).



Fig. 5.16: Segagione di una latifoglia in “plot”. Consiste nel segare un tronco con corse tutte parallele ad un’unica direzione, di modo che la tavola centrale sia in direzione diametrale, ma tutte le altre sono via via tangenziali agli anelli e perciò soggette all’imbarcamento (Laner, 2005).

Tronchi

Nei tronchi invece, la differenza tra il ritiro radiale e tangenziale provoca, col progredire della stagionatura, delle aperture a V che si originano nel midollo con direzione radiale (fig. 5.16). Essendo la circonferenza funzione di primo grado del raggio, se i rispettivi ritiri fossero uguali in percentuale non si avrebbe alcuna fessura o apertura, ma essendo maggiore il ritiro in direzione tangenziale di quello radiale, è inevitabile che si abbiano delle aperture crescenti dal midollo verso la periferia. Questo fenomeno non è imputabile a errori di essiccazione o di posa in opera, ma è un fenomeno naturale insito nella natura del legno (Giordano, 1999).

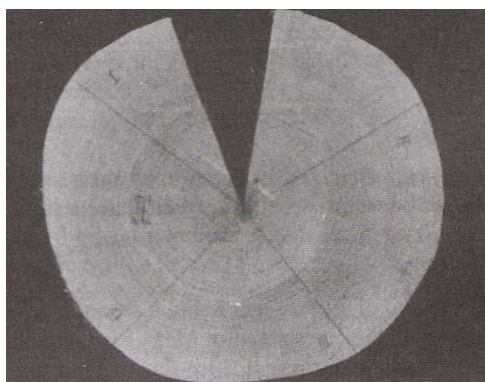


Fig. 5.17: Aspetto del ritiro naturale da stagionatura all'aria aperta nella sezione trasversale di un tronco di faggio (Giordano, 1999).

Travi

Nelle travi invece, possono presentarsi due situazioni, a seconda che la trave contenga nel suo interno l'asse midollare del fusto (travi "centrate", con cuore) oppure sia ad esso esterna (travi fuori cuore o con cuore spaccato). Nel primo caso, più frequente per travi che hanno sezioni con lati dai 18-20 cm in su, si ha sempre una corona circolare attorno al midollo nella quale si palesa la differenza tra ritiro tangenziale e radiale con una fenditura (fig. 5.17). Le fessure a V delle travi, dovute alla stagionatura, seguono l'andamento della fibratura e mettono perciò in evidenza se questa è dritta oppure se ha un andamento elicoidale o alterato dalla presenza di nodi. Queste deviazioni possono indurre un pregiudizio alla resistenza dei pezzi

alle sollecitazioni meccaniche: la loro presenza è un prezioso elemento di giudizio del quale i direttori dei lavori devono tener conto all'atto della scelta e del collaudo dei materiali da porre in opera (Giordano, 1999).

Le fenditure da ritiro nelle travi influenzano meno la resistenza se sono orientate nella direzione del carico, piuttosto che perpendicolari ad esso: se le fenditure attraversassero completamente la sezione, si avrebbe un evidente diminuzione del momento d'inerzia della sezione.

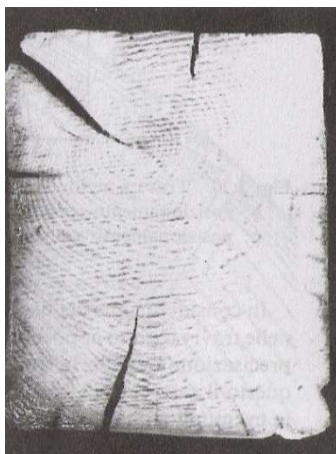


Fig. 5.18: *Normali fenditure da ritiro in travi di abete “centrate” vale a dire contenenti l’asse midollare (Giordano, 1999).*

Come abbiamo detto, le fessurazioni longitudinali nelle travi possono comportare decrementi di resistenza, a questo proposito sono però necessarie delle precisazioni:

- se il tronco viene squadrato quando questo è in condizioni di stagionatura più o meno avanzata sarà facile accorgersi di un’incipiente fessurazione che indicherà il presumibile decorso della fenditura da ritiro. La sezione rettangolare della trave dovrà essere orientata in modo che il lato lungo del rettangolo risulti parallelo alla fessurazione.
- Se invece la squadratura viene effettuata sul tronco fresco di taglio, nel quale ancora non è iniziato il ritiro, non c’è alcun accenno di fessurazione, non è perciò possibile stabilire a priori quale può essere l’orientamento più favorevole alla resistenza della trave.

E' importante sottolineare che quando la trave è posta in opera allo stato fresco, il ritiro da stagionatura può causare delle variazioni dimensionali che possono interferire nelle quote e nelle planarità degli orizzontamenti dei solai e delle relative pavimentazioni.

Nel caso in cui, invece, il midollo sia esterno alla trave, non vi è alcuna probabilità che si verifichino delle fenditure da ritiro. È questo il caso di travi o travetti di dimensioni relativamente modeste, ottenuti dopo aver sezionato il tronco in due o quattro parti in cui manca la corona circolare continua circondante il midollo. Il ritiro, in questo caso, si manifesterà con riduzioni dimensionali le quali, a seconda dell'orientamento dei lati della sezione rispetto agli anelli di accrescimento, potranno determinare delle deformazioni più o meno palesi (Giordano, 1999).

Pali

Il verificarsi del ritiro nei pali, porta ad avere delle sezioni trasversali con delle resistenze, sia a flessione che ai carichi di punta, sicuramente inferiori a quelle del palo integro. Se all'atto della posa il palo è già fessurato converrà sistemarlo in modo che l'apertura risulti orientata nel senso della sollecitazione a flessione prevalente, e non nella direzione ortogonale.

Le fessurazioni nella paleria da impiegare all'esterno hanno un ulteriore limite, rappresentano infatti una facile via di ingresso per gli attacchi di funghi e insetti. I pali possono essere trattati con sostanze preservanti, applicate per spruzzatura o per immersione; se queste vengono applicate sul materiale fresco di taglio, l'effetto della stagionatura comporterà l'apertura di fessure da ritiro tangenziale le cui facce non risulteranno protette e perciò facilmente attaccabili. Si può ovviare a tale inconveniente praticando delle incisioni radiali (una per tutto il raggio, o meglio ancora quattro fino a metà del raggio), lungo le quali l'antisettico può penetrare svolgendo così la sua funzione.

5.6. Ispezione e diagnosi delle strutture lignee in opera

L'esperienza costruttiva di secoli e la ricerca scientifica hanno dimostrato che il legno è un materiale da costruzione leggero, resistente, elastico, facile da lavorare e da mettere in opera, e anche longevo purché mantenuto in condizioni ambientali idonee e non assoggettato all'azione di specifici fattori di degradamento (Borri, 2006).

I motivi che possono portare all'alterazione degli elementi lignei possono essere cause di natura meccanica (carichi eccessivi e/o protratti per lungo tempo) o il degrado biotico. Essi possono portare alla riduzione delle proprietà meccaniche del legno, alla diminuzione della sicurezza statica sino alla perdita dell'elemento e della sua funzione strutturale (Borri, 2006). Per strutture antiche si parla inoltre di compromissione o perdita di testimonianza e del valore storico (<http://www.legnodoc.com>).

Proprio per questo, le strutture portanti lignee di interesse storico-artistico devono essere conservate come parte essenziale del nostro patrimonio culturale. La conservazione non deve riguardare solo l'oggetto, ma anche la sua funzione strutturale, perché ciascun elemento ligneo possa continuare a contribuire al funzionamento statico dell'insieme all'interno della struttura. Ciò implica che qualsiasi esigenza di intervento su elementi lignei debba basarsi su un dettagliato esame dell'intera struttura e di ciascun componente (Borri, 2006).

La richiesta di un intervento in opera, finalizzato alla diagnosi strutturale viene determinata dalla necessità di stabilire le condizioni residue di sicurezza di un'opera dovute all'insorgere dei fenomeni di alterazione del materiale.

Quanto maggiore è il livello di conoscenza che questo processo di valutazione consente di ottenere sulla situazione reale, tanto più la progettazione e realizzazione dell'intervento risultano semplici, affidabili e corrette, per tipologia ed entità (Borri, 2006). Essendo infatti, la progettazione degli interventi di restauro, consolidamento o riparazione, la fase più critica del programma di conservazione o di ripristino delle condizioni di sicurezza, è estremamente necessario che questa sia basata su

conoscenze adeguate in merito alle condizioni di conservazione della struttura (<http://www.legnodoc.com>).

5.6.1. Stato delle conoscenze e normativa

Sugli aspetti relativi alle strutture lignee gli edifici compresi nell'ambito dei beni culturali è stata recentemente pubblicata la norma UNI 11119, che ha come obiettivo proprio le ispezioni in situ per la valutazione dello stato di conservazione degli elementi lignei in opera. Tale norma stabilisce obiettivi, procedure e criteri per la valutazione dello stato di conservazione e la stima delle proprietà di resistenza di elementi lignei in opera nelle strutture portanti, attraverso l'esecuzione di ispezioni e l'impiego di tecniche e metodologie di prova non distruttive (Borri, 2006).

Al capitolo della diagnosi, sul piano normativo sono dedicate poche righe delle redigenti norme NICOLE (Norme Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni in legno); nel paragrafo N°9 si parla infatti di regole specifiche per le strutture esistenti.

Esiste poi un altro documento normativo, pur non cogente e non ancora approvato che disciplina l'argomento. Si tratta del Progetto n° 14 dell'UNI-Normal GL 20; U 84000430. Beni culturali, Manufatti lignei. Strutture portanti degli edifici: "Criteri di valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione degli interventi". Tali norme descrivono con puntigliosa sequenzialità le operazioni da compiere per effettuare la diagnosi delle strutture lignee in opera (Laner, 2003).

Inoltre nella direttiva del 29 gennaio 2008 sono riportate le linee guida per l'applicazione del DPCM del 12 ottobre 2007 (Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni). Nel capitolo quarto sono riportate le varie fasi di lavoro per giungere alla completa conoscenza del manufatto.

5.6.2. Utilità della diagnostica

La conoscenza, quanto più possibile, completa e dettagliata dello stato di fatto delle strutture, è alla base sia della loro verifica statica sia della progettazione, affidabile ed efficace, degli interventi sulla struttura. Il

processo di valutazione degli elementi strutturali lignei deve consentire di programmare con largo anticipo la portata gli interventi, deve permettere di controllare la corretta e puntuale esecuzione degli stessi, e in fase di manutenzione può essere utile per adottare specifiche contromisure per ogni tipo di anomalia, alterazione o danni rilevati (Borri, 2006).

La diagnostica applicata alle strutture lignee ha lo scopo di conferire certezza ed affidabilità alla progettazione attraverso la determinazione oggettiva dello stato di conservazione e della funzionalità strutturale, fornendo informazioni utili ad eliminare una serie di fattori di incertezza come ad esempio:

- la qualità del materiale (specie legnosa, umidità del legno, classe di rischio biologico, tipologia, posizione ed estensione dei difetti e delle anomalie presenti);
- la localizzazione del degrado, sua gravità ed estensione, sua possibile evoluzione;
- e la sezione resistente residua dei singoli elementi (valutazione dello stato dei collegamenti, delle zone e delle sezioni critiche e infine la classificazione secondo la resistenza dell'intero elemento ligneo e delle singole sezioni critiche) (<http://www.sidercem.it>).

L'indagine diagnostica estesa a tutti gli elementi della struttura consente di ottenere i massimi vantaggi in termini di affidabilità della verifica statica e di accuratezza nella pianificazione del lavoro; essa inoltre permette la riduzione degli interventi allo stretto necessario, riduce al minimo gli imprevisti in corso d'opera e garantisce nel complesso una elevata probabilità di successo del progetto di restauro.

L'indagine diagnostica è necessaria in tutti i casi in cui vi siano specifiche esigenze di conservazione (edifici monumentali, o soggetti a vincolo architettonico), quando si vuole ripristinare l'uso di edifici abbandonati, dinanzi a palesi fenomeni di dissesto o, semplicemente per verificare il livello di sicurezza della struttura (<http://www.sidercem.it>).

5.6.3. Modalità esecutiva dell'ispezione in situ

Al fine di pervenire ad una corretta valutazione tecnologica delle strutture lignee antiche l'approccio al problema deve essere completo, e deve procedere nell'analisi dell'intera struttura tenendo conto che ogni caso è a se stante e le variabili che possono intervenire sono innumerevoli.

Fase preliminare

Vengono raccolte tutte le informazioni disponibili sulla struttura lignea che possono rivelarsi un prezioso contributo al processo di valutazione. A questo scopo andrebbero raccolti ed esaminati prima di procedere all'ispezione: informazioni storiche, rilievi effettuati in passato, studi, schizzi e disegni.

La corretta valutazione tecnologica necessita prima di tutto di un'attenta e accurata ispezione visuale per mezzo della quale si deve osservare da vicino l'elemento ligneo.

Fase di ispezione visuale

I principali obiettivi che si pone l'ispezione visuale sono quelli relativi alla determinazione di tutti gli aspetti essenziali ai fini della diagnosi:

- le caratteristiche macroscopiche, utili all'identificazione della specie legnosa. Se esse non sono sufficienti per consentire un riconoscimento univoco si deve ricorrere al prelievo di piccoli campioni da sottoporre ad un esame microscopico.
- tutti i caratteri che consentano di individuare la qualità originaria degli elementi lignei, ovvero le qualità che avevano al momento della messa in opera: il tipo di assortimento, la presenza ed estensione di alborno e durame, la tipologia ed estensione dei difetti e anomalie originarie (nodi, inclinazione della fibratura, fessurazioni ecc.);
- la determinazione del degrado di origine biotica intervenuto in opera sugli elementi lignei: il tipo di attacco e l'alterazione risultante, la posizione e l'estensione della zona degradata, lo stato di avanzamento dell'attacco, le cause che lo hanno generato e che lo hanno favorito, la possibile evoluzione del degrado attuale, i fattori di rischio presenti;

– l’individuazione dei danni che si sono potuti verificare sugli elementi lignei, dovuti a carichi eccessivi e di lunga durata: la presenza di frecce d’inflessione molto pronunciate e irreversibili dovute a sollecitazioni troppo elevate o a condizioni ambientali inadatte, di cedimenti e rotture e di altri tipi di danni meccanici agli elementi o alle connessioni, associate alla storia dei carichi della struttura.

Bisogna prestare particolare attenzione alla qualità delle zone di collegamento tra un elemento e l’altro che consentono il trasferimento dei carichi. È inoltre importante supportare i dati raccolti nell’ispezione con una buona documentazione fotografica.

All’ispezione visuale possono essere affiancate altre indagini: le prove non distruttive, di tipo più o meno sofisticato al fine di accrescere la quantità di informazioni sugli elementi componenti la struttura.

Fase di ispezioni strumentali complementari

Le ulteriori tecniche di indagini possono fornire indicazioni sull’intero elemento oppure dei dati locali, sul punto individuato e oggetto della prova.

Le informazioni locali sono utili per le parti degli elementi non direttamente accessibili all’ispezione visuale. Per questo tipo di prova non distruttiva è importante la scelta del punto e della direzione di prova in relazione alle direzioni anatomiche del legno e ai suoi difetti.

Nell’impiego di prove non distruttive per uso locale, è bene richiamare alcuni aspetti fondamentali:

- il punto scelto per effettuare la prova è determinante;
- le informazioni rilevate su un punto non possono estendersi all’intero elemento;
- aumentare il numero delle prove aumenta i costi e non sempre l’affidabilità dei risultati;
- le tecniche impiegate chiamate prove “non distruttive”, possono essere in realtà avere un impatto più o meno importante sia sulla funzione strutturale sia sull’aspetto estetico dell’elemento. Gli strumenti e i metodi a disposizione sono tanti, diversi, : penetrometri statici e dinamici (Pilodyn),

trapani strumentati (microdrilling e resistograph), onde di pressione, vibrazioni forzate, ultrasuoni, raggi X e altre ancora.

Come per qualsiasi tecnica di indagine, l'interpretazione dei risultati ottenuti deve essere effettuata da uno specialista che compilerà una relazione tecnica, integrando le informazioni ottenute dalle varie tecniche con le indicazioni ricavate dall'indagine visuale e interpretando sinteticamente tutto l'insieme dei dati a disposizione.

Risultati dell'ispezione

Sulla base delle informazioni acquisite è possibile procedere alla identificazione delle zone critiche del segato, ovvero di quelle zone che per la presenza combinata di difetti, anomalie, degradamento, danni e per lo stato di sollecitazione dell'elemento ligneo possono essere considerate rilevanti e limitanti per le prestazioni meccaniche e quindi per la funzione strutturale. Queste zone devono essere descritte e devono portare a definire le relative sezioni critiche, sezioni trasversali dell'elemento rappresentative dell'intera zona. Tale sezione definisce a sua volta la sezione efficace, ovvero la sezione trasversale che, tolte le aree danneggiate è ancora in grado di garantire la funzionalità strutturale. Se non ci sono aree degradate, la sezione efficace corrisponde all'intera sezione dell'elemento. Ciascun elemento ligneo deve essere oggetto della classificazione secondo la resistenza: sulla base delle anomalie e dei difetti presenti, previa decurtazione delle zone alterate, deve essere classificato in base alle proprietà di resistenza e attribuito ad una delle categorie previste, òle quali riportano un valore limite per ciascun criterio di classificazione considerato. Le categorie sono associate ad un profilo resistente che elenca le principali proprietà meccaniche attribuibili ad un elemento ligneo in opera, i valori di tensione ammissibile e di modulo elastico.

Un altro elemento importante è la valutazione del rischio di attacchi biotici sulla struttura lignea che scaturisce dalla combinazione delle caratteristiche proprie della specie legnosa con la classe di rischio biologico (dipendente dalle condizioni dell'ambiente circostante, come indicato dalla norma UNI

EN 335), l'umidità del legno e tutti gli altri fattori che permettano di prevedere il potenziale rischio di degradamento futuro.

5.6.4. Le tecniche di indagine non distruttive per il legno in opera

Diverse sono le tecniche di indagine del legno, ma è importante, in seguito all'ispezione visiva di cui sopra, per effettuare una prima investigazione generale e grossolana, che dia però una corretta idea sullo stato di fatto dell'elemento, mettere in campo l'udito. È infatti molto attendibile associare la consistenza del legno al suono che questo emette quando subisce una percussione con un martello. Il suono soffocato, sordo, come un tonfo senza rimbalzo del martello ci indica l'inconsistenza del legno. Viceversa la risposta chiara, cristallina ed il rimbalzo del martello con la relativa vibrazione indotta, indica l'integrità del legno.

Si possono usare anche delle semplici trivelle per comprendere lo stato generale, con queste tecniche di prova immediate, si riesce a determinare se l'inconsistenza del legno può essere superficiale o profonda. Infatti, se la trivella penetra senza difficoltà nell'elemento ligneo, risulta evidente che si è di fronte ad una patologia estesa. Se viceversa la penetrazione avviene con difficoltà, significa che siamo in presenza di legno sano.

Su questo principio si basano alcuni strumenti che mettono in relazione l'energia assorbita dalla penetrazione di una punta con la durezza e la densità e quindi con la resistenza del legno. Anche la misura della profondità d'impronta di un punzone può essere messa in correlazione con la resistenza: il principio è molto simile a quello dello sclerometro per il c.a.; è questo il caso di strumenti come il Densiomat, il Resistograph, il Decay Detecting Drill, il Pilodyn. Esistono poi strumenti di indagine ad ultrasuoni o di vibrazione libera che utilizzano le onde ultrasoniche, o i raggi X, con i quali, oltre ad effettuare valutazioni sullo stato di salute di elementi strutturali, si può anche valutare l'esito di eventuali consolidamenti.

Il Pilodyn

Il Pilodyn ripetitore è impiegato per la stima locale della massa volumica del legno (fig. 5.19). Lo strumento effettua una penetrazione dinamica del legno proiettando un punta cilindrica sottile, di acciaio, per mezzo di una molla tarata. La misura della profondità a cui la punta penetra è correlata con la massa volumica del legno, ma può dipendere anche dalla presenza di alterazioni biotiche oltre che dall'umidità e dalla direzione anatomica del legno rispetto alla direzione della punta. L'informazione ricavata ha un valore molto localizzato nell'intorno del punto di misura e alla profondità di infissione (Borri, 2006).



Fig. 5.19: Strumento di prova non distruttivo Pilodyn si utilizza per la stima della massa volumica del legno (Borri, 2006).

Ultrasuoni “in trasparenza”

Un'altra prova non distruttiva (fig. 5.20) consiste nella misura del tempo di propagazione di onde ultrasoniche “per trasparenza” ovvero con l'impiego di due trasduttori, trasmettitore e ricevitore. Questa particolare tecnica è stata studiata per il legno, in quanto la tecnica degli ultrasuoni riflessi non è applicabile per il legno. Le misurazioni possono essere effettuate perpendicolarmente alla fibratura (fig. 5.20 a) e parallelamente alla fibratura (fig. 5.20 b). Attraverso il calcolo, sulla base della distanza tra le sonde (L) misurata in mm e del tempo impiegato per arrivare dal trasmettitore al

trasduttore (t) misurato in μs , si determina la velocità di propagazione degli ultrasuoni (v) in m/s:

$$v = \frac{L}{t}$$

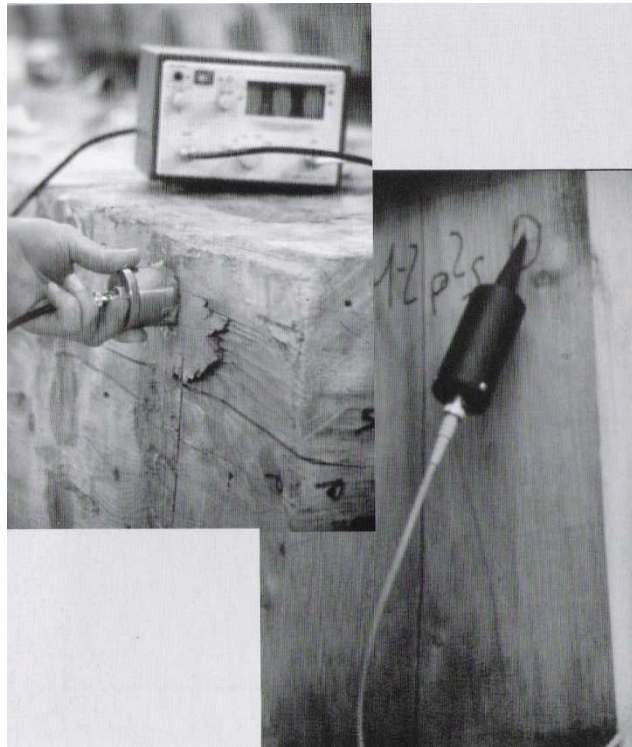


Fig. 5.20: Attrezzatura di prova per la tecnica degli ultrasuoni: a) esecuzione della prova con posizionamento delle sonde perpendicolare alla fibratura e b) posizionamento parallelo alla fibratura (Borri, 2006).

Essa dipende dal modulo elastico del materiale (secondo la direzione anatomica considerata), dalla densità, dalla deviazione della fibratura, dal degradamento, ma anche dall'umidità del legno, dalla presenza di eventuali fessure da ritiro, di altre anomalie ed infine dalla bontà dell'accoppiamento della superficie delle sonde con quella del legno. Dal trasmettitore parte il timer, che si ferma quando il trasduttore riceve il fronte d'onda. L'onda di propagazione degli ultrasuoni è direttamente correlata con le proprietà elastiche del materiale nel quale essa si propaga. Se il materiale è danneggiato, la sua densità decresce, ovvero essendo la velocità dell'onda

una funzione della radice quadrata della densità del materiale, velocità più basse, o tempi di propagazione maggior indicano generalmente condizioni peggiori del legno. La tecnica di indagine degli ultrasuoni è utilizzata maggiormente per la classificazione del legno, in questo caso la velocità di propagazione è misurata in direzione longitudinale alle fibre.

5.6.4.1. Prove di vibrazione libera

Tra le prove non distruttive si possono annoverare anche quelle di vibrazione libera. Possono essere di tipo flessionale, ovvero quelle che utilizzano la direzione di propagazione dell'onda perpendicolare alla direzione di oscillazione delle particelle del legno, le quali sono però molto complicate da effettuare in opera, dato che dipendono fortemente dalle condizioni di vincolo e di carico dell'elemento ligneo. Le prove in direzione longitudinale, ovvero quelle in cui l'onda si propaga nella stessa direzione dell'oscillazione delle particelle, possono consentire di ottenere la misura della frequenza propria di vibrazione e, attraverso di essa determinare il modulo elastico del materiale (Borri, 2006)

5.6.4.2. Raggi X

Le radiazioni a onda corta e ad alta energia come i raggi X richiedono, per essere utilizzate nell'analisi di strutture in legno, la trasformazione delle radiazioni invisibili in un'immagine visibile.

I raggi infrarossi possono attraversare strati di materia, essere riflessi da ciò che sta sotto e successivamente tornare all'emulsione fotografica formando un'immagine più o meno nitida. La corta lunghezza d'onda permette loro di essere assai penetranti all'interno della materia.

Questa tecnica si basa sulle differenti densità dei materiali, da queste dipende infatti il maggiore o minore assorbimento delle onde elettromagnetiche da parte della materia. Nel legno in particolare, questa tecnica trova un'ottima applicazione per la determinazione di parti degradate del materiale, o per l'individuazione di nodi, vuoti o fessure o altri difetti, i quali hanno densità differente da quella del legno sano.

Per poter fotografare gli effetti dei raggi X è necessario utilizzare una pellicola, emulsionata su entrambe le facce, sensibile a tali raggi. La

pellicola viene normalmente posta a contatto con una lastra di piombo. Questo procedimento viene indicato come il metodo d'esame scientifico più adeguato allo studio delle strutture lignee. Con questo metodo si possono inoltre individuare all'interno delle strutture, dispositivi di fissaggio o giunti in metallo (fig. 5.21) (<http://www.webalice.it>).

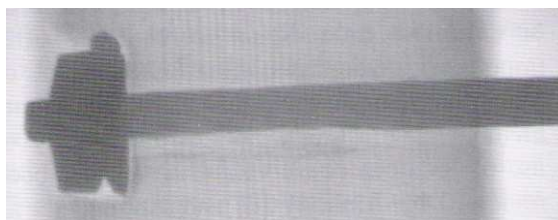


Fig. 5.21: bullone in acciaio corrosivo con visibile deformazione locale del legno (Binda, 2006).

5.6.5. Le tecniche di indagine semi distruttive per il legno in opera

La trivella di Pressler

Tra gli strumenti più rudimentali, la trivella di Pressler è uno strumento che trova largo utilizzo per le misurazioni di piante in piedi, ma che può anche essere utilizzato su travi in opera (fig. 5.22, 5.23). Con questa speciale trivella si possono estrarre delle carotine di circa 5 mm di diametro che restituiscono la stratigrafia del legno indagato. Si possono cioè verificare i veri strati, la sequenza degli anelli o la profondità degli attacchi degli insetti, facendo attenzione alla direzione di perforazione, che deve procedere radialmente, dalla periferia al cuore (Laner, 2005).



Fig. 5.22: Esempio di una trivella di Pressler (Laner, 2005).

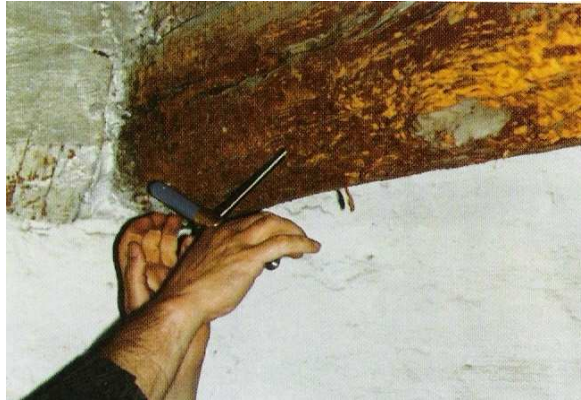


Fig. 5.23: *Impiego della trivella di Pressler per determinare la profondità di attacco degli insetti Xilofagi e per conoscere la sezione residua ancora idonea (Laner, 2005).*

Tecnica del Core-drilling

Il metodo del Core-drilling viene utilizzato per conoscere le proprietà fisiche del legno. Il metodo consiste nell'estrazione di carote con diametro variabile fino a 12 mm mediante l'uso di un trapano (fig. 5.24) (manuale o elettrico).



Fig. 5.24: *Dispositivo di Core drilling ben appoggiato alla superficie dellegno (Binda, 2006).*

Questi piccoli provini estratti vengono inseriti in un speciale macchinario che, mediante prove di carico, ne determina la resistenza a compressione e il modulo di elasticità (fig. 5.25).



Fig. 5.25: *Strumento per il test sulle micro carote utilizzato per la determinazione della la resistenza a compressione e il modulo di elasticità (Binda, 2006).*

Le carote estratte con questo metodo possono inoltre essere utilizzate per la determinazione di altri parametri del materiale, ad esempio il contenuto di umidità o la densità del legno, e possono fornire inoltre informazione sull'età dell'elemento ligneo da cui provengono.

La direzione in cui le carote vengono estratte è un parametro importantissimo che permette di ottenere provini con caratteristiche meccaniche completamente differenti (Binda, 2006).

Radial cores

La tecnica dell'estrazione di carote in direzione radiale negli elementi lignei è considerata un metodo localmente distruttivo, che restituisce risultati soddisfacenti. Infatti, i fori lasciati nel legno dopo l'estrazione delle carote sono più piccoli di molti nodi presenti negli elementi di legno. Inoltre queste "menomazioni", non comportano diminuzione della resistenza del materiale. Nelle strutture di valore storico e artistico, i fori lasciati dall'estrazione dei provini vengono riempiti e richiusi, sia per motivi estetici, sia per prevenire l'infiltrazione di umidità e l'insediamento di insetti o di microorganismi che ne causerebbero il degrado.

I test condotti su queste micro carote forniscono informazioni relative alle caratteristiche meccaniche del materiale di provenienza, quali la resistenza a compressione e le deformazioni caratteristiche. Queste proprietà meccaniche devono essere convertite in proprietà tecniche del materiale per la valutazione della sicurezza della struttura. Le proprietà tecniche riflettono l'inevitabile diminuzione della resistenza del legno puro dovuta alla presenza dei difetti del legno come: nodi, rotture, fessure ecc..

Le carote vengono estratte in parti non danneggiate del legno in direzione radiale, perché l'angolo di perforazione che il trapano forma con degli anelli annuali di accrescimento è un parametro importante per l'esecuzione corretta delle prova (fig.5.26).



Fig. 5.26: esempio di estrazione delle carote in direzione radiale agli anelli di accrescimento(Binda, 2006).

Durante l'estrazione, bisogna assicurarsi che il trapano aderisca bene all'elemento da testare, poiché questo accorgimento garantisce una performance corretta della prova e inoltre favorisce la penetrazione a velocità costante della punta del trapano nell'elemento. Le micro carote che hanno un diametro di circa 5 mm e una lunghezza di 20 mm, possono essere utilizzate anche per determinare altri parametri del legno, come la densità, il contenuto di umidità, il modulo di elasticità, oppure conoscere la specie del legno a cui appartengono e si possono inoltre effettuare su di esse studi di

dendrocronologia ovvero dall'ampiezza degli anelli risalire alle passate condizioni climatiche (Binda, 2006).

Microdrilling e Resistografo

Tra le tecniche semi distruttive è da annoverare anche la misurazione della resistenza a penetrazione mediante l'uso del Resistografo. In realtà questo strumento è ancora meno invasivo del core-drilling poiché i fori lasciati, dopo la misurazione, sull'elemento sono di 3 mm di diametro, e perciò può anche essere considerato non invasivo. Alle caratteristiche di questo strumento di prova è dedicato tutto il prossimo capitolo.

CAPITOLO SESTO

STRUMENTO DI INDAGINE DIAGNOSTICA DEL LEGNO: IL RESISTOGRAFO

6.1. Scopi di prova

Il resistografo è uno strumento di indagine, usato in tutto il mondo nelle istituzioni scientifiche per studiare gli alberi e le costruzioni in legno in generale (Rinn, 1994) (Fig 6.1).

Il principio alla base del funzionamento del resistografo è relativamente semplice. Si tratta, infatti, di una specie di trapano con un sottilissimo ago, fatto di acciaio di alta qualità, che viene inserito nel legno a velocità costante prestabilita, scelta in funzione del legno e della tipologia di strumento in uso. Il legno oppone all'ingresso della punta una resistenza alla perforazione variabile: i valori registrati sono correlati alla profondità di penetrazione. Durante la misurazione viene infatti, prodotto un grafico in cui in ordinata è riportata la resistenza a perforazione e in ascissa la profondità.

È uno strumento estremamente semplice e maneggevole, progettato per riuscire ad effettuare misurazioni anche in condizioni difficili.

Il resistografo viene utilizzato principalmente nella silvicoltura, per studiare e valutare lo stato di salute e di accrescimento degli alberi, ma trova anche largo impiego nell'edilizia: effettuando infatti delle misurazioni sugli elementi di legno delle strutture si può valutare l'affidabilità delle costruzioni lignee.

Il resistografo misura la resistenza del legno alla perforazione che è direttamente correlata alla densità; le variazioni di densità, all'interno di un fusto arboreo, si possono riscontrare attraversando gli anelli di accrescimento annuale, essendo il legno primaverile molto meno denso del legno autunnale. È perciò lecito immaginare che la punta del resistografo, attraversando il tronco di un albero o attraverso una trave, riveli una successione di piccole variazioni di resistenza. Mediante un accurato studio degli anelli di accrescimento annuale degli alberi, valutando cioè il loro

modo di susseguirsi e il loro spessore, si possono ricavare informazioni sulle caratteristiche di crescita dell'albero, sulle condizioni ambientali in cui si è sviluppato, riuscendo persino a ricostruire le passate condizioni climatiche. All'interno dei fusti arborei possono essere presenti cavità, zone degradate, nodi, vuoti o fessure, che avranno sicuramente densità diversa dal legno sano.



Fig. 6.1: Ispezioni resistografiche effettuate sulla testata di una trave (<http://www.imlusa.com>).



Fig. 6.2: Ispezioni resistografiche su alberi esistenti (<http://www.imlusa.com>).

L'impiego del resistografo risulta molto diffuso nella valutazione dello stato di salute delle piante, che si trovano nelle foreste, nei boschi, nei parchi o ai margini delle strade, e in tutti quei siti, in cui la valutazione della loro stabilità sia necessaria ai fini della sicurezza personale, e per la prevenzione dei danni alle proprietà causati da eventuali cadute di alberi (Rinn, 1996). Mediante l'uso di questo strumento è possibile perciò valutare la qualità del legno, localizzare i difetti interni propri della piante (nodi, fratture, fessure),

lo stadio di degrado dovuto alla presenza di insetti, funghi o muffe, non valutabili dall'ispezione visuale esterna. Questo rende il resistografo estremamente utile anche nella valutazione dello stato di fatto delle strutture in legno. Spesso nei progetti di ristrutturazione di edifici in legno ci si avvale dell'uso di questo strumento per individuare i punti deboli della struttura. Infatti, individuando le aree localizzate di decadimento, si può intervenire con delle sostituzioni parziali o totali, e d'altro canto, conoscendo l'effettivo stato di salute degli elementi si evitano degli interventi di demolizione o completa sostituzione non strettamente necessarie.

È altresì importante l'uso del resistografo perché, effettuando delle misurazioni a intervalli di tempo regolari, è possibile proteggere le strutture intervenendo su eventuali stadi degradativi, ancora in fase d'inizio.

È chiaro che il resistografo data la sua versatilità può essere utilizzato per qualsiasi costruzione in legno, pavimenti, travi di solai, capriate, travi di tetti, ponti, parcogiochi, pali della luce o di altra tipologia.

6.2. Sviluppo storico

La misura principale sulla quale si basa il resistografo è stata inventata e brevettata nel 1985. I fondamenti scientifici furono discussi e stabiliti all'interno di un progetto di tesi in fisica, che fu preparato dal 1986 al 1988 nell'università di Heidelberg e Hohenheim (Rinn, 1994). In seguito fu lanciato sul mercato il primo prototipo, antenato del resistografo, chiamato "Densitomat", che aveva la peculiarità di misurare la densità interna delle strutture. Il dispositivo e l'ago furono modificati nel 1989 in particolare per migliorare l'analisi degli anelli di accrescimento del legno (effettuando misurazioni più accurate e con maggiore risoluzione): lo strumento con le sue nuove modifiche fu brevettato poco dopo. Nel 1992-1993 fu presentata la quarta generazione di questi strumenti, il "Resistografo", che differiva dalle tipologie precedenti per i suoi molteplici vantaggi: resistenza agli urti, resistenza all'acqua, maggiore velocità di avanzamento dell'ago, migliore risoluzione, maggiore efficienza (più di 150 operazioni di trapanatura al giorno), costi minori e un dispositivo automatico di bloccaggio dell'ago. Le

migliorie apportate allo strumento, e la migliore geometria dell'ago (punto di perforazione più piccolo, angoli smussati e speciali procedure di indurimento) hanno migliorato la risoluzione e la precisione delle trapanature di un ordine di grandezza, così come la sensibilità alle variazioni della resistenza a perforazione oltre ad essere migliorata può, oggi essere adattata alle caratteristiche della specie legnosa misurata. (Rinn, 1994).

6.3. Descrizione dello strumento e suo funzionamento

Il resistografo è uno strumento che guida un sottilissimo ago in acciaio (diametro da 1 a 1,5 mm) attraverso il legno misurandone, come detto, la resistenza alla perforazione. L'ago del trapano ha una punta con una speciale geometria e rettifica, (Fig. 6.3), ed avendo un diametro doppio di quello dell'ago (1,5-3 mm), concentra su di essa tutta la resistenza incontrata durante la misura (Rinn, 1998).

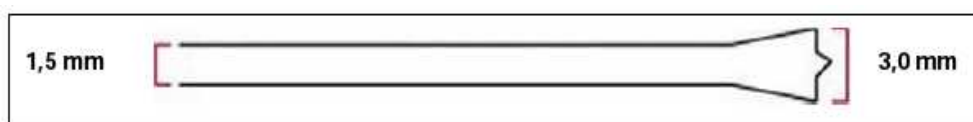


Fig. 6.3: Geometria della punta dell'ago del Resistografo; si vede che la punta ha diametro doppio del fusto (Rinn, 1994)

La forma geometrica della punta dell'ago fornisce numerosi vantaggi: ad esempio la riduzione della deviazione dell'ago da un moto lineare, che può essere causata dalla presenza degli anelli di crescita e dei nodi del legno.

La lunghezza massima dell'ago del resistografo varia a seconda del modello e della marca di produzione. Lo strumento ha inoltre due diverse velocità, una di avanzamento (mm/min) e una rotazionale (rpm), e contiene al suo interno due motori. L'albero motore dell'ago è stabilizzato quasi continuamente all'interno del dispositivo di perforazione da uno speciale telescopio; questa stabilizzazione è necessaria per evitare la rottura dell'ago e permettere una velocità di avanzamento fino a 1 metro per minuto (Rinn, 1994).

Del modello "Resistograph 1280" esistono 3 versioni: una più piccola, la cui profondità massima di penetrazione è di 280mm; una versione standard che

arriva fino a 410 mm di profondità e la versione più grande che riesce a perforare fino a 950 mm. Questo resistografo ha una velocità di avanzamento che varia anch'essa a seconda delle differenti versioni del resistografo, viene selezionata dall'utilizzatore in base alla densità presunta del legno: da 70 mm/min circa per legni molto densi come il Bongossi, fino a 1000 mm/min per legni molto teneri come il Pioppo. Inoltre, possiede una velocità rotazionale continua di circa 1000 rpm (Rinn, 1994).

Questa tipologia prevede inoltre la connessione dello strumento ad un pacchetto batteria per mezzo di un lungo cavo. Il pacchetto batteria contiene batterie ricaricabili, pannello di controllo, stampante termica e un'interfaccia RS232. Lo strumento è collegato a un display su cui è possibile osservare l'andamento della misurazione in formato digitale, che si trova nella parte posteriore dello strumento, in modo da essere osservabile dall'utilizzatore. L'involucro contenente il display può essere saldamente collegato allo strumento o, in alcuni casi, rimovibile, in questo modo, diventa possibile osservare il profilo in ogni condizione di lavoro. Durante la misurazione, mentre il profilo resistografico viene rilevato sul display, contemporaneamente viene stampato in scala 1:1 su rotoli di carta cerata resistente all'acqua, posizionati nella stampante dell'unità batteria. In alternativa, i profili possono essere direttamente memorizzati nell'unità batteria, che può contenere fino a 200 profili nella memoria opzionale per poi trasferirli a un PC, o in alternativa può essere direttamente connessa al PC via RS232. Nel PC i profili registrati possono essere direttamente scaricati, con l'installazione di diversi software come il DECOM; l'analisi dei profili di densità e l'elaborazione dei dati può essere effettuata anche in un secondo momento, e i dati raccolti possono essere presentati sottoforma di grafici, tabelle e schede. La memoria opzionale che può essere aggiunta nell'unità batteria è stata ideata soprattutto per adattarsi alle difficili condizioni di lavoro che possono presentarsi in alcuni edifici, ponti, lungo le linee elettriche, o sugli alberi ai lati delle strade e nelle foreste. In questo modo non è più necessario avere in sito un PC, ma registrandoli nella memoria, i profili possono essere scaricati successivamente (Rinn, 1994).



Fig. 6.4: Modello di “Resistograph 1280” collegato mediante un cavo ad unità batteria all’interno della quale è posizionata la stampante termica, che “graffia” i profili su rotoli di carta cerata (<http://www.imlusa.com>).

Della tipologia “Resistograph IML F-SERIES” esistono diversi modelli: F150S, F300S, F4000S, F500S, che hanno rispettivamente lunghezze di perforazione massime: 130 mm, 280 mm, 380 mm, 480 mm. La velocità di avanzamento, per questi dispositivi va da 0 a 550 mm/min, mentre la velocità rotazionale varia da 400 a 1200 rpm.

Queste tipologie di resistografi non sono costituiti da un unico pezzo, ma un trapano BOSCH è collegato all’involucro rettangolare che caratterizza lo strumento resistografico e che varia le sue dimensioni a seconda del modello; nella sommità è posizionata la stampante mediante la quale durante le misurazioni possono essere stampati i profili resistografici. La stampante “graffia” i profili relativi alla misurazione su strisce di carta cerata resistente all’acqua in scala 1:1. In opzione, lo strumento è fornito di una unità elettronica, che si attacca nell’estremità posteriore dello strumento; i comandi sono concentrati in una manopola di gestione. Questa unità elettronica è provvista di un display, come per il modello precedentemente descritto, sul quale possono essere visualizzati i dati contemporaneamente all’esecuzione delle misurazioni. In più lo speciale schermo permette una lettura semplice, anche in condizioni di forte soleggiamento. Mediante questo dispositivo l’utente può scaricare tutte

le informazioni raccolte nella giornata, in un PC, con l'installazione di un apposito software (F-Tools, F-Tools Pro). L'unità elettronica dei resistografi F-series può essere caratterizzata da un innovativo sistema bluetooth, mediante il quale è permessa la trasmissione wireless dei dati al PC (<http://www.implusa.com>).



Fig. 6.5: Modello di Resistografo IML F-400, con stampante in sommità e unità elettronica nell'estremità posteriore (<http://www.implusa.com>).



Fig. 6.6: Unità elettronica, con sistema Bluetooth (<http://www.implusa.com>).

6.4. Procedure applicative

Prima di procedere all'esecuzione della misurazione, sono necessarie alcune operazioni di settaggio dello strumento.

Essendo un dispositivo con batteria ricaricabile, è importante recarsi in sito con la carica completa, così da poter avere disponibilità di energia per l'intera giornata. Per il dispositivo F-Series: bisogna inserire le strisce di carta cerata nell'apposita fessura posta nell'estremità posteriore dello strumento, o nel caso di un modello resistografo 1280 assicurarsi dell'esatto posizionamento del rotolo di carta. Durante la prima misurazione bisogna inserire attentamente l'ago di perforazione; è molto importante controllare la posizione dell'ago e il suo corretto inserimento ogni dieci misurazioni.

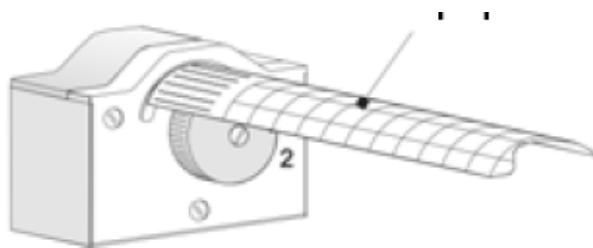


Fig. 6.7: Inserimento della striscia di carta nell'apposita fessura posizionata sopra la manopola della sensibilità di un modello "Resistograph IML"
(<http://www.imlusa.com>).

A seconda dell'oggetto che si sta per analizzare, lo strumento deve essere settato nel modo corretto, scegliendo:

– **Il livello della velocità rotazionale** (per il modello IML):

1° Livello, bassa velocità rotazionale, 400 rpm (alta risoluzione); utilizzato per le misurazioni sugli alberi.

2° Livello, alta velocità 1200 rpm; usato per i pali.

Per il modello Resistografo 1280 il livello di velocità rotazionale è sempre circa 1000rpm.

– **Il livello di sensibilità:** si può scegliere tra due marce, si imposta la propria scelta posizionando sull'1 o sul 2, la manopola posta sull'estremità posteriore dello strumento.

Stage 1 legno tenero (softwood), stage 2 legno duro (hardwood).



Fig. 6.8: Manopola per la regolazione del livello di sensibilità da utilizzare nella misurazione; è posta nell'estremità posteriore dello strumento
(<http://www.imlusa.com>).

A causa delle molteplici caratteristiche del legno, è importante scegliere correttamente in ogni misurazione il giusto stage; a questo proposito, sono utili le tabelle di densità volumetrica che si trovano nei manuali del legno.

Tabella 6.1: valori approssimati del livello di sensibilità da utilizzare in base alla tipologia di legno (http://www.imlusa.com/Resistograph_Manual)

OGGETTO	SPECIE DI LEGNO	STAGE DI SENSIBILITA'
Alberi esistenti	Quercia, faggio, acero,	2/1
	Platano, castagno	2
	Pino, Betulla	1
	pioppo	1
Legno strutturale,	quercia....	2
	Pino, abete, larice	1

- **Livello della velocità di avanzamento:** per accendere il dispositivo, si preme il tasto on/off, a seconda della pressione esercitata si sceglie la velocità di avanzamento, che per il resistografo F-Series va da 0 a 550 mm/min, mentre per il modello “1280” da 0 a 1000 mm/min.

Settato lo strumento in base all’oggetto da esaminare; si procede alla misurazione vera e propria, se è assicurata la stabilità dell’utilizzatore (<http://www.imlusa.com>).

Si disegna con un pennarello un punto sull’albero o sull’elemento da perforare, e vi si appoggia la punta del resistografo, in modo che risulti perpendicolare alla superficie. Si deve esercitare una forte pressione sullo strumento, con una mano o anche con il corpo, se il materiale è particolarmente duro. È importante esercitare una pressione consistente, perché in tal modo l’ago uscendo dallo strumento, penetra subito la superficie dell’elemento riducendo così gli errori di misurazione. Importante è anche la perpendicolarità dell’ago agli anelli di crescita del legno. Come vedremo nel paragrafo 6. 5, dedicato all’interpretazione dei dati, perforando il legno con differenti angoli d’inclinazione tra l’ago e il contorno degli

anelli, si ottengono profili completamente differenti; è dunque importantissimo per evitare l'erronea interpretazione dei profili resistografici, assicurare la perpendicolarità dell'ago nella misurazione (<http://www.imlusa.com>).

Durante l'esecuzione della prova, la rotazione dell'ago deve essere impostata nel senso orario. L'ago, fuoriuscendo dallo strumento, penetra il legno fino a raggiungere la profondità desiderata, raggiunta la quale si spegne lo strumento, si modifica il verso della rotazione, senso antiorario, e in questo modo l'ago rientra nello strumento.

L'equipaggiamento del resistografo è fornito anche di un opzionale adattatore inclinato di 45°; questo strumento è di supporto nelle misurazioni di pali o alberi sotto il livello del terreno. Per accertarsi che nelle zona sotto terra, il palo o le radici dell'albero siano in buono stato, era necessario rimuovere la terra nell'intorno della base, con inevitabili danni alla stabilità dell'elemento. Con questo particolare supporto, si riescono ad effettuare delle misurazioni inclinate di 45°, senza compromettere la stabilità, e soprattutto mantenendo la posizione dell'ago rettilinea, con ovvie migliorie nella precisione delle misurazioni. Il supporto è usato anche nelle strutture in legno, quando si vuole conoscere lo stato di salute di zone nascoste degli elementi, come le testate delle travi che si innestano nella muratura, le quali sono di solito maggiormente soggette a degrado (Augelli et al., 2005).



Fig. 6.9: Ispezione resistografica su un palo effettuata con un'angolazione di 45° grazie allo speciale adattatore di cui è riportato l'ingrandimento a destra (<http://www.imlusa.com>).

6.5. Analisi e interpretazione dei dati

Il Resistografo produce due forme di output dei dati. Una è una semplice traccia incisa su una striscia di carta cerata, che scorre sulla sommità dello strumento, o su rotoli di carta inseriti nell'unità batteria. L'altra possibilità è disponibile solo per i modelli più sofisticati; le letture possono essere conservate in una memoria di bordo per poi essere scaricate su un PC per essere analizzate e stampate. In entrambi i casi, l'ascissa dei grafici è calibrata in pollici o in centimetri di profondità di penetrazione, procedendo da destra verso sinistra. L'ordinata, invece, non ha unità di misura: essa rappresenta la resistenza alla perforazione, ovvero una misura correlata alla densità relativa del legno. Ad esempio, un picco di valore più alto, indica una densità relativa maggiore del legno (maggiore resistenza alla perforazione e di conseguenza maggiore potenza richiesta al motore), rispetto a picco più basso (<http://www.imlusa.com>).

L'interpretazione corretta dei profili resistografici richiede molta pratica e abilità. Le caratteristiche generali dei difetti sono relativamente facili da individuare, mentre gli aspetti più sottili del degrado e dei difetti richiedono tempo ed esperienza. Per migliorare di continuo l'approccio all'interpretazione dei risultati prodotti dal Resistografo bisognerebbe raccogliere tutti i risultati ottenuti nelle varie esperienze in un personale fascicolo. Inoltre, dove fosse possibile, effettuare dei sezionamenti del legno nei punti in cui è stata effettuata la misurazione e confrontarli con i dati di output (si possono riportare i profili su carta trasparente e sovrapporli precisamente al percorso di perforazione effettuato). In questo modo si prende dimestichezza con i grafici ottenuti e si possono effettuare diagnosi sempre più precise ed affidabili (<http://www.imlusa.com>).

Un tipico andamento resistografico relativo ad una misurazione su legno sano, è caratterizzato da regolari cambiamenti di densità, rivelati da una alternanza di picchi verso l'alto seguiti da altre dirette verso il basso nel profilo, con valori in ordinata diversi da zero. Questi dipendono dalla sequenza degli anelli annuali di crescita, che sono costituiti da legno

primaverile e legno autunnale. La distanza tra due picchi successivi, rappresenta lo spessore dell'anello di crescita annuale.



Fig. 6.10: Profilo resistografico ottenuto su carta trasparente e sovrapposto alla linea di perforazione. Si vede che i picchi di valore corrispondono alle zone di legno tardivo, la zona intermedia tra due picchi corrisponde invece al legno primaverile (<http://www.imlusa.com>).

Un aspetto molto importante per il calcolo degli anelli di crescita annuale è il percorso di perforazione, poiché, se questo non è preciso si può incorrere in sottostime del numero degli anelli se durante la penetrazione con l'ago non viene attraversato il durame. Se la punta attraversa il durame (linea B in figura 6.11) è possibile stimare con precisione sia il numero degli anelli sia il loro spessore. Se la punta viaggia dritta e passa vicino alla zona del durame, ma non lo attraversa (linea A in figura 6.11), si ottiene una stima abbastanza precisa del numero degli anelli, ma non del loro spessore. Se il percorso di perforazione è simile alla linea C (fig 6.11), allora si ottiene una stima imprecisa, sia del numero degli anelli sia del loro spessore (Chang et al., 2006).

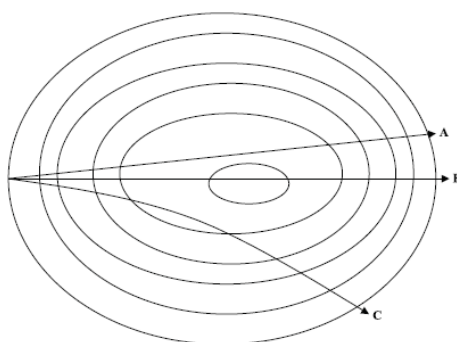


Fig. 6.11: Schema di possibili percorsi di perforazione dell'ago del resistografo in una sezione trasversale di tronco d'albero (Chang et al., 2006).

Si capisce perciò l'importanza che assume l'angolo tra il percorso della punta e il contorno degli anelli, poiché solo la perpendicolarità determina il tipico aspetto della struttura degli anelli nei profili resistografici. Una perforazione perpendicolare mostra chiaramente e distintamente gli anelli. (Figura 6.10). Se l'ago penetra gli anelli tangenzialmente vicino al midollo, la parte dell'anello maggiormente investita dall'ago è di legno primaverile, perciò non saranno riconoscibili apprezzabili variazioni nel profilo; in più essendo la densità del legno primaverile più bassa, sono evidenti valori inferiori di resistenza (Rinn, 1994).

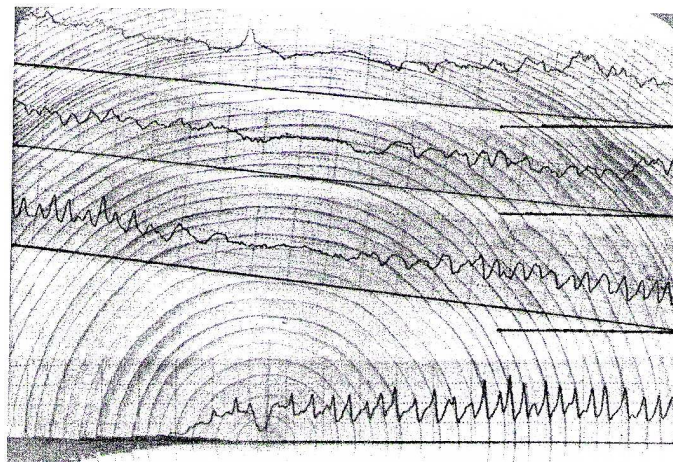


Fig. 6.12: Andamento dei profili resistografici in legno sano in funzione dei diversi angoli di perforazione del resistografo (Rinn, 1994).

Non sempre è possibile visualizzare la completa differenziazione di tutti gli anelli di crescita annuale, se infatti questi sono estremamente ravvicinati, sul profilo non si registrano punte evidenti, ma si avrà un andamento pressoché costante.

Il degrado del legno si sviluppa in stadi progressivi. La struttura delle pareti cellulari del legno sano è forte, ma quando gli organismi che causano il degrado invadono i tessuti, modificano le caratteristiche chimiche e fisiche delle cellule. Un degrado incipiente è visualizzato in un grafico resistografico da una leggera diminuzione della densità del legno. Nel momento in cui il degrado diventa avanzato, la struttura del legno si rompe e la sua densità decresce drasticamente.



Fig. 6.13: Percorso di perforazione effettuato su tronco di abete bianco di 11,5 cm di diametro; contenente al suo interno 160 anelli di crescita annuali. Gli anelli sono molto ravvicinati; si suppongono condizioni climatiche di crescita difficili (<http://www.imlusa.com>).

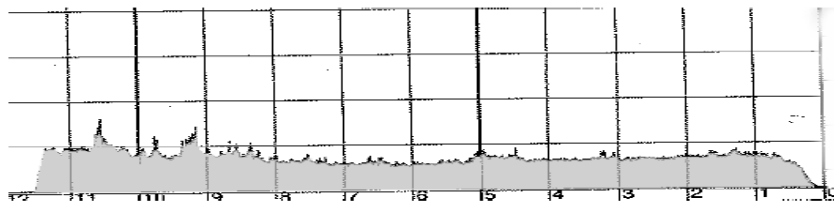


Fig. 6.14: Profilo ottenuto nella misurazione del tronco precedentemente illustrata. Si nota che gli anelli di crescita annuali non sono ben riconoscibili, poiché troppo ravvicinati; non c'è il tipico andamento con punte evidenti (<http://www.imlusa.com>).

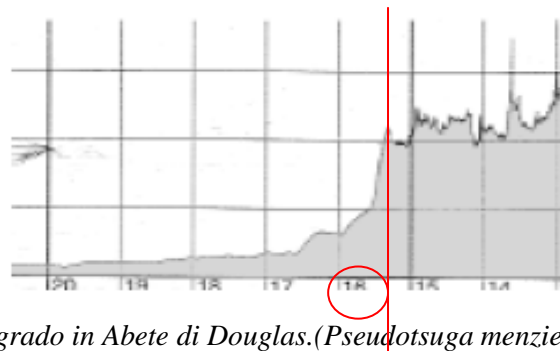


Fig. 6.15: Degrado in Abete di Douglas. (*Pseudotsuga menziesii*). Si vede che a 15,5 cm ha inizio il degrado, l'andamento decrescente della curva dimostra il rapido progredire verso lo stadio avanzato dai 16 cm in poi. La resistenza alla perforazione (densità del legno) è da questo punto in poi molto bassa; probabile presenza di una cavità nella quale si trova il legno in decomposizione (<http://www.imlusa.com>).

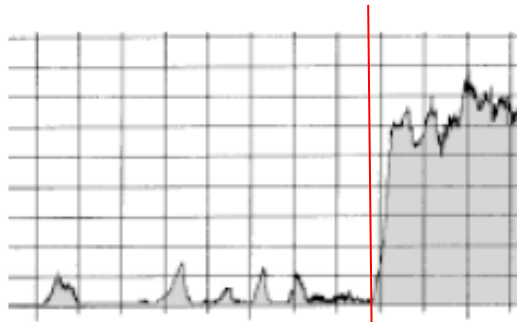


Fig.6.16: Degrado all'interno di un Cedro rosso occidentale (*Thuja plicata*). L'inizio della zona di degrado è bruscamente definito a 26,8 cm. La resistenza alla perforazione raggiunge lo zero, e si vede poi qualche punta di ripresa, ma con valori molto bassi. Queste punte svelano la presenza di legno tardivo ancora presente nei singoli anelli (<http://www.imlusa.com>).

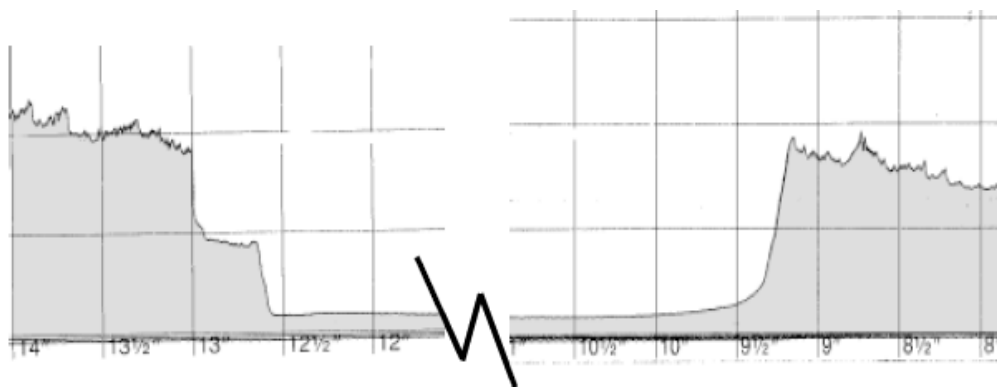


Fig. 6.17: Degrado in un Ontano Rosso (*Alnus rubra*). Il lato destro della figura mostra una curva di degrado molto liscia, tipica delle specie di "Hardwood". Il lato sinistro invece mostra un pronunciato salto, da resistenza nulla ad alta resistenza. La parte piatta nel mezzo dello scalino è la zona di confine tra legno sano e legno degradato (<http://www.imlusa.com>).

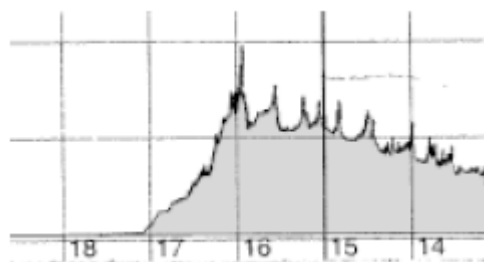


Fig. 6.18: degrado in un Acero a foglie grandi (*acer macrophyllum*). La curva di degrado scende verso il basso prima di raggiungere il valore nullo di resistenza alla perforazione. Questa è la zona di transizione del degrado incipiente; il legno ha ancora una struttura, ma diventa progressivamente più debole fino a che la punta non attraversa la cavità, registrando cioè una resistenza alla perforazione nulla (<http://www.imlusa.com>).

Le fratture del legno sono a volte facilmente confondibili con delle zone limitate di degrado. Generalmente, una frattura è individuata nel profilo da un'improvvisa diminuzione di resistenza rispetto al legno sano (<http://www.imlusa.com>).

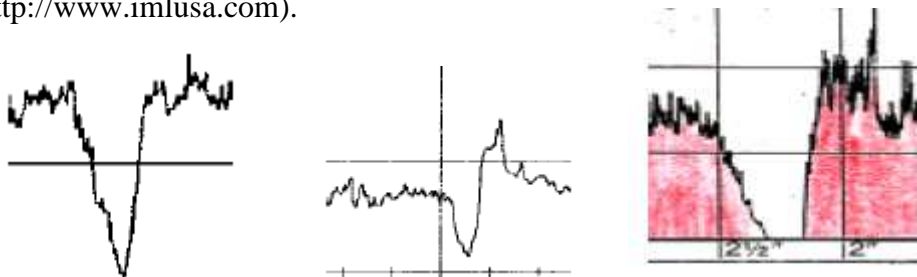


Fig. 6.19: In questi esempi si nota come la diminuzione di resistenza non sia diretta. Per il fenomeno del degrado le diminuzioni della resistenza hanno un andamento molto più liscio (<http://www.imlusa.com>).

Non sempre l'andamento dei profili resistografici è riferito esclusivamente alle caratteristiche interne del legno, alcuni salti nei profili a volte possono essere determinati da fattori esterni alla struttura.

Il Resistografo utilizza un sistema di frizione per garantire che, nel caso di inceppamento dell'ago, si inneschi un meccanismo per il rilascio dell'ago, al fine di evitare di danneggiare l'intero strumento. Regolazioni improprie della frizione, possono condurre ad uno scivolamento dell'ago ad un livello più basso della coppia applicata.

Occasionalmente, il legno può avere una densità estremamente alta e se il resistografo non è tenuto con forte pressione contro il legno, tende a spingere all'indietro. Cercando di correggere questo effetto, aumentando la pressione all'estremità posteriore dello strumento, si assiste ad improvvise picchi del profilo. Si può risolvere il problema premendo con fermezza lo strumento contro il legno per tutta la durata della misurazione (<http://www.imlusa.com>).

In alcuni casi si possono incontrare parti di legno estremamente densi e duri, i quali restituiscono delle letture, nel profilo, estremamente elevate. È inoltre possibile, in queste circostanze, che la punta dell'ago si rompa, conducendo l'esecutore della prova ad una lettura erranea.

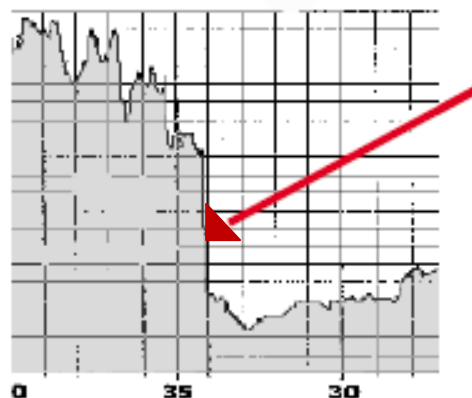


Fig. 6.20: *Picchi del profilo dovute ad una iniziale spinta verso l'esterno dell'ago, seguita da un aumento della pressione sul resistografo, applicata dall'utilizzatore che lo spinge contro il legno (<http://www.imlusa.com>).*

I danneggiamenti dell'ago possono essere causati dalla presenza di rocce, se si sta effettuando una misurazione in legno interrato, e da parti metalliche presenti negli alberi o nei pali. La rottura dell'ago è accompagnata di solito da una serie sgradevole di rumori e da vibrazioni pronunciate dello strumento. La misurazione deve essere in questa circostanza interrotta, la punta ritirata dall'elemento e sostituita (<http://www.imlusa.com>).

Di seguito vengono riportati alcuni esempi di degrado rilevati su diverse specie arboree, nei cui profili sono evidenti gli andamenti caratteristici specificati sopra.

Il primo esempio riguarda un grosso ramo (diametro circa 16 cm) di acero, caduto senza avvertimento. Sulla superficie esterna dell'albero, nel punto di rottura, non erano presenti sintomi di difetti. Osservando il remo spezzato, nel punto di frattura, era molto evidente l'estensione dell'attacco fungino (Fig. 6.21).

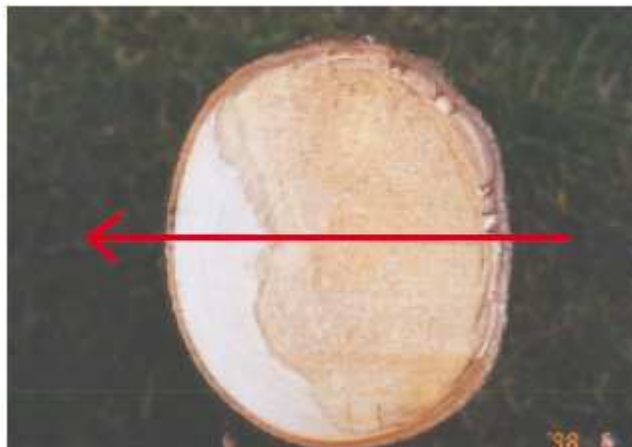


Fig. 6.21: Percorso di perforazione eseguito con il resistografo nel ramo interessato dal degrado. È evidente che la parte a destra della sezione è completamente investita dall'attacco di funghi (<http://www.imlusa.com>).

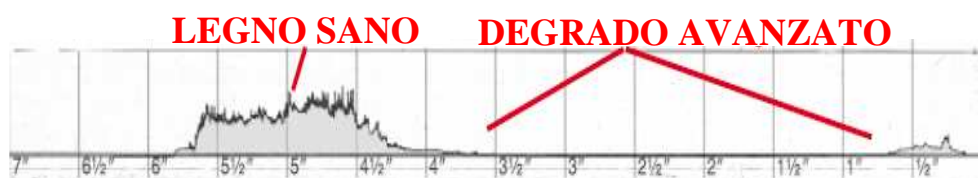


Fig. 6.22: La misurazione nella zona di frattura, mostra che la capacità strutturale nella maggior parte della sezione del ramo è nulla, con una piccola parte di legno sano nella zona superiore (a sinistra nel profilo) (<http://www.imlusa.com>).

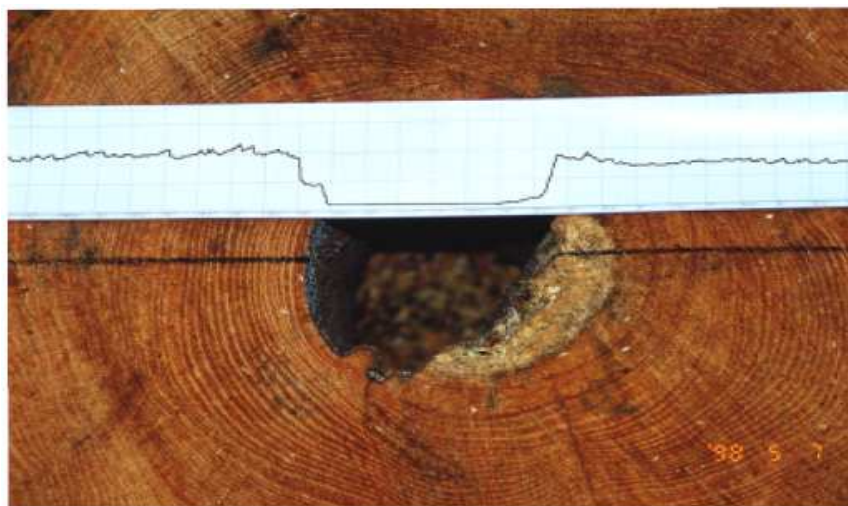


Fig. 6.23: Il profilo resistografico rivela la presenza della cavità, con un abbassamento dei valori del profilo nella zona centrale del grafico; la curva sulla destra delle figura, segna il passaggio da legno sano a legno con degrado allo stadio iniziale. La curva a sinistra invece, è tagliata nel mezzo da uno “scalino”, riflette un piccolo ostacolo che si è sviluppato al margine della cavità (<http://www.imlusa.com>).

Un altro esempio mostra su tronco di Ontano rosso un degrado interno ben circoscritto (Fig 6.23).

L'ultimo caso riportato riguarda una misurazione effettuata su un tronco di abete occidentale (*Tsuga heterophylla*), con una ferita sulla corteccia (Fig. 6.24). Osservando il numero degli anelli, si può supporre che il legno si sia fessurato circa 18 anni prima. Successivamente i tessuti si sono ricuciti, lasciando però sopra la ferita una zona di transizione ben visibile. Le condizioni invernali e il vento forte, possono aver indotto una rottura lungo questa zona, provocando una frattura nella corteccia esterna. Questo ha generato una maggiore esposizione delle zone interne del tronco agli attacchi esterni; le parti di legno adiacenti alla ferita risultano infatti degradate (<http://www.imlusa.com>).



Fig. 6.24: La sezione verticale del tronco mostra una colonna di degrado che si estende per 30 metri (<http://www.imlusa.com>).

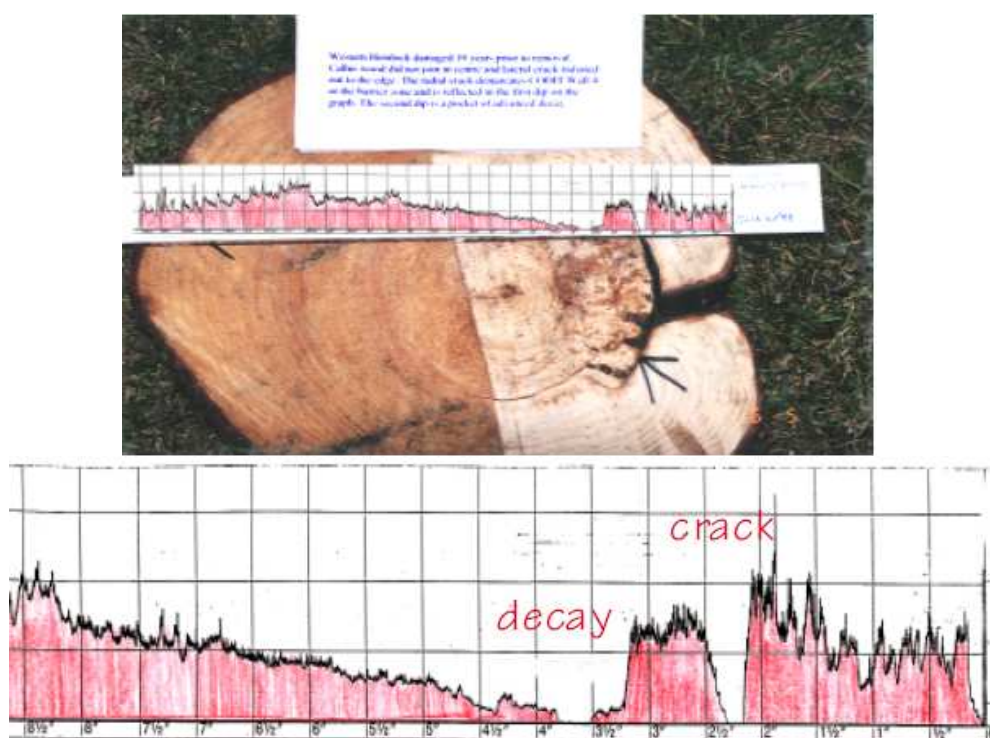
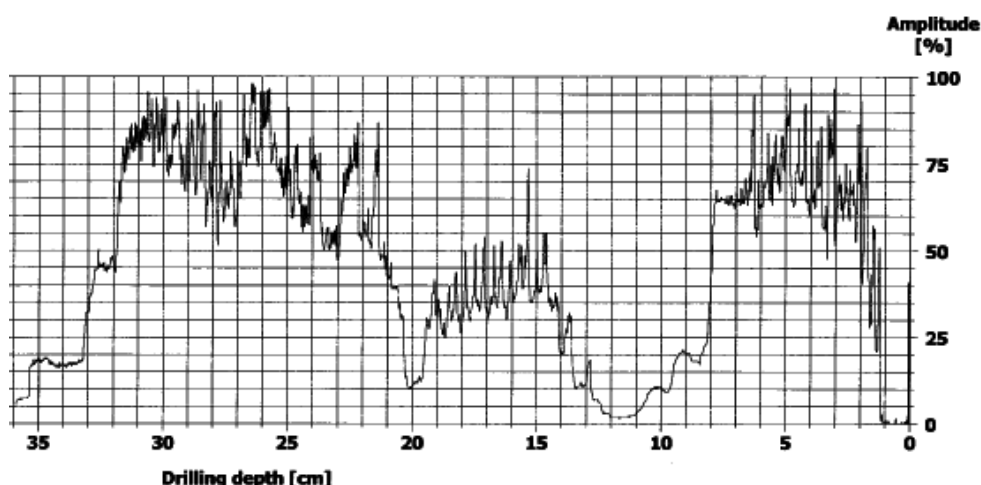


Fig. 6.25: Il profilo resistografico mostra la presenza di una fessura, seguita poco dopo da una zona di legno degradata. Il percorso di perforazione non è perpendicolare agli anelli di crescita (<http://www.imlusa.com>).

I modelli di resistografo più all'avanguardia, come abbiamo già detto, possiedono una unità computerizzata che permette di memorizzare le misurazioni effettuate in formato digitale. I risultati saranno poi scaricati su un PC per successive analisi e annotazioni. La comodità di avere un formato digitale permette di alterare la scala orizzontale o verticale a seconda delle esigenze, per poter guardare più da vicino i risultati. L'opzione elettronica permette di migliorare la sensibilità delle letture e di effettuare analisi più dettagliate (<http://www.imlusa.com>).

I risultati cartacei del Resistografo stampati contemporaneamente alla misurazione restano comunque importantissimi poiché permettono una prima interpretazione in sito, che incide sulla scelta dei rilievi successivi.



VALUTAZIONE
Da 0.0 cm a 1.0 cm: CORTECCIA
Da 1.0 cm a 7.0 cm: LEGNO SANO
Da 7.0 cm a 14.0 cm: DEGRADO AVANZATO
Da 14.0 cm a 19.0 cm: LEGNO SANO
Da 19.0 cm a 21.0 cm: FRATTURE/ DEGRADO
Da 21.0 cm a 33.0 cm: LEGNO SANO

Fig. 6.26: Formato standard, in formato digitale, dei dati di output di una misurazione resistografica su pino Douglas. Il grafico deve sempre essere accompagnato da una tabella di valutazione, in cui vengono riassunti le caratteristiche riscontrate nel profilo (<http://www.imlusa.com>).

6.6. Vantaggi e svantaggi della tecnica

I vantaggi del resistografo sono: è un metodo di misurazione quasi non distruttivo, dati i piccoli diametri dei fori effettuati sul materiale (3mm) che risultano piccolissimi soprattutto se confrontati con quelli di altri metodi di indagine, come il Core Sampling che estrae carote di campionamento con un diametro maggiore di un ordine di grandezza (10-40 mm). Inoltre i residui delle perforazioni effettuate con il resistografo, rimangono nei fori dopo le misurazioni così da richiudere i fori stessi. Grazie alle esigue dimensioni dei fori realizzati, si predispone ad essere utilizzato anche per rilevamenti su materiali di edifici storici, che non possono essere deturpati (Rinn, 1996).

Il resistografo è uno strumento estremamente semplice da usare e maneggevole che produce risultati piuttosto affidabili e in tempi brevi: basta un solo minuto per effettuare una misurazione; inoltre essendo uno strumento portatile, le misurazioni possono essere effettuate in sito anche nelle condizioni più difficili tipiche degli edifici storici, in cui non è sempre garantita l'accessibilità. Grazie allo speciale adattatore, si possono effettuare delle misurazioni a 45°, in alberi o pali sotto il livello del terreno o alle estremità delle travi (Rinn, 1994).

Inoltre, oggi la possibilità di registrare i dati anche tramite wireless dà la possibilità all'utilizzatore di analizzare i profili successivamente, nonché di raccogliarli in schede per effettuare utili confronti nelle successive misurazioni.

Inoltre, si ottengono vantaggi economici nell'uso del resistografo: grazie alla riduzione della stima dei costi di ristrutturazione che scende al di sotto del 5% e in aggiunta, nel lungo tempo, si riducono i costi di manutenzione degli edifici, e si preservano le costruzioni antiche. Di solito i costi delle ispezioni per stilare dei piani di intervento, si aggirano tra il 2 e l'8% dei costi totali di ristrutturazione, in funzione dell'importanza dell'edificio. La riduzione dei costi è una diretta conseguenza del fatto che gli ingegneri strutturisti, gli architetti e i muratori possono avvalersi di stime precise, potendo pianificare meglio le fasi di lavoro, rispettandone i tempi, senza incorrere in inaspettate interruzioni, dovute il più delle volte alla mancata conoscenza delle reali condizioni del legno.

Il resistografo è però uno strumento di indagine puntuale, non restituisce cioè una visione generale degli elementi; per questo motivo, nelle varie applicazioni è sempre supportato da altri metodi di indagine, come analisi mediante i raggi X, termografia, ultrasuoni (Rinn, 1994).

Inoltre la flessibilità dell'ago di perforazione, la forza torcente e il calore generato dal dispositivo, pregiudicano in alcuni casi la perfetta riuscita delle misurazioni; infatti questi fattori, potrebbero influire sulla linearità del percorso di perforazione. L'esperienza mostra che questa situazione tende a verificarsi più spesso in alberi molto grandi (Chang et al., 2006).

6.7. Esempi applicativi

Ispezioni di travi in legno con differenti danneggiamenti

Nello studio di strutture storiche e antiche in particolare è importante conoscere lo stato di salute degli elementi lignei, infatti il legno, essendo un materiale naturale, se non preservato nel tempo è soggetto a decomposizione biologica e chimica; questi fenomeni possono spesso essere causa, negli elementi strutturali, di importanti perdite delle caratteristiche meccaniche che possono a loro volta compromettere la stabilità della struttura. Diffondendosi il degrado, il pericolo aumenta.

In uno studio condotto da Kappel sono state effettuate misure resistografiche su travi in legno con caratteristiche differenti. I dati ottenuti ovvero i profili resistografici, sono stati confrontati con i tagli a vista delle sezioni esaminate. Lo strumento utilizzato in questo esperimento è un resistografo F300-S che utilizza un ago di perforazione di 300 mm di lunghezza, di 1,5mm di diametro, con una punta di 3mm di diametro.

La prima misura è stata effettuata su una trave di legno sano. Le trapanature in direzione radiale perpendicolari ai contorni degli anelli rilevano un alternarsi di legno primaverile e legno tardivo lungo la direzione di perforazione (Fig. 6.27). Essendo il legno tardivo molto più denso del legno primaverile, il profilo presenta valori alternati della resistenza alla perforazione.

Il secondo provino è una trave in cui sono presenti fessure da ritiro (fig. 6.28). Se il percorso di perforazione dell'ago è perpendicolare alla fessura (drilling 1), la larghezza di quest'ultima è visibile nel tratto in cui è completamente assente la resistenza a perforazione.

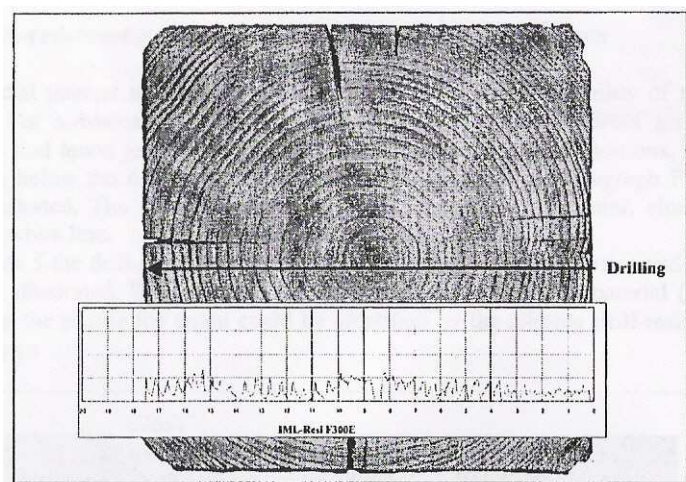


Fig. 6.27: Profilo resistografico effettuato su una trave di legno sano secondo il percorso di perforazione indicato (Kappel et al.,1993).

Se il degrado si estende dalla fessura, la resistenza alla perforazione decresce lentamente verso di essa. Il legno attorno alla fessura non è degradato se il profilo mostra un cambiamento repentino dei valori di resistenza. Quando l'ago si muove all'interno della fessura (drilling 2), la resistenza a perforazione è nulla (Fig 6.26).

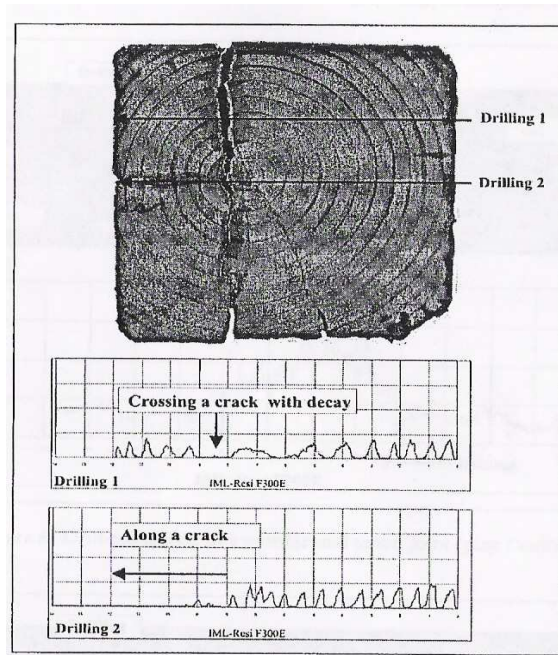


Fig. 6.28: Profili resistografici relativi a due misurazioni effettuate su una trave di legno con fessure da ritiro. I profili sono riferiti ai relativi percorsi di perforazione (Kappel et al.,1993).

La terza trave presenta invece un diffuso stato di degrado (Fig. 6.29). Se le perforazioni investono le aree degradate, è visibile nei grafici un abbassamento del profilo per un tratto sufficientemente lungo. Il grado di diminuzione della resistenza dipende dal tipo di degrado e dallo stadio in cui si trova. Un abbassamento del profilo può anche essere dovuto al passaggio dell'ago in una zona piuttosto lunga di legno primaverile (se ad esempio le perforazioni non sono perpendicolari). Per avere maggiore precisione nei risultati, è preferibile effettuare due misurazioni, preferibilmente l'una perpendicolare all'altra, che attraversino entrambe la zona in cui sia supposto il difetto, in questo modo si ottiene una buona visione dell'estensione del danneggiamento (Kappel e Mattek, 1993).

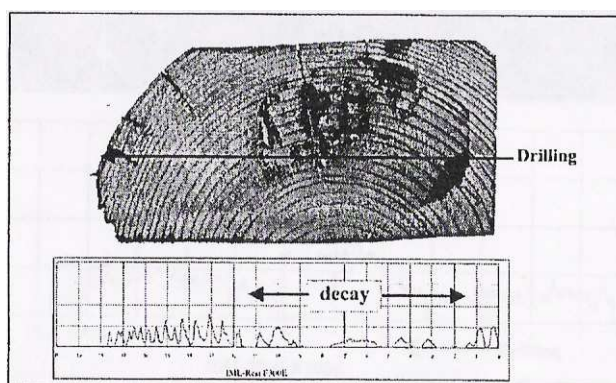


Fig. 6.29: profilo resistografico relativo ad una misurazione effettuata su una trave con degrado diffuso (Kappel et al., 1993).

Uso di tecniche non distruttive per verificare l'affidabilità del tetto in legno nella ex filanda Meroni

La ex filanda Meroni, situata nel centro storico della piccola città di Soncino vicino Cremona, è stata recentemente oggetto di una competizione nazionale di architettura voluta dal consiglio comunale della città stessa. Le proposte dovevano prevedere la salvaguardia dell'architettura dall'abbandono, il restauro e un riutilizzo con funzioni sociali. L'importanza storica e culturale di questo polo industriale e archeologico è rafforzata dalla

sua posizione nella maglia urbana antica, essendo adiacente alla fortezza degli Sforza, e situata all'interno delle mura della città ancora esistenti. Questa filanda, una costruzione molto grande viste le dimensioni della città, rappresenta l'ultima testimonianza ancora integra, sebbene in decadenza, di queste attività economiche in provincia.

In vista del progetto di recupero, ispezioni e investigazioni micro distruttive sono state fatte sulle strutture del tetto in legno per verificare e quantificare la consistenza dei materiali, e per determinare il grado di degrado dei singoli elementi e il rischio di collasso della struttura. Le fasi di identificazione e di ispezione saranno incluse:

riconoscimento delle specie di legno (quercia, larice, olmo); determinazione della loro naturale durabilità e classe di rischio di attacco biologico; localizzazione e valutazione dei principali difetti, alterazioni e zone critiche; individuazione delle patologie, sia in corso sia non attive; rilievi ambientali e condizioni di umidità del legno con le misure non distruttive; valutazione della resistenza degli elementi mediante prove di resistenza alla penetrazione nelle aree di degrado sia evidenti sia supposte (zone non direttamente accessibili, ad esempio, punti di appoggio delle travi e giunti) insieme a rilievi fotografici.

L'edificio si compone di una parte Nord e di una Sud, gli elementi ispezionati sono nel complesso circa 185.

Il resistografo è stato usato come prova non distruttiva per calcolare la resistenza a penetrazione degli elementi in legno. Questi test hanno lo scopo di verificare il livello di attacco nel legno per formulare delle ipotesi su come preservare questa struttura antica. È infatti molto importante quantificare il danneggiamento per stabilire se è necessaria la sostituzione di parti in legno della struttura. Le travi delle capriate nell'edificio Nord, e i travetti nelle capriate dell'edificio Sud sono stati oggetto di valutazione. Questo include un totale di 23 test di resistenza alla penetrazione. I punti di lettura sono stati scelti su un lato dell'elemento il più vicino possibile alla muratura (in queste zone il legno subisce un degrado maggiore perché non è adeguatamente ventilato). La scelta dei punti da studiare dipende:

- dall'accessibilità del luogo e le condizioni ambientali;
- e dalla rappresentazione significativa. Per verificare lo stato reale del degrado, quegli elementi che mostrano un'alterazione del legno o in prossimità di questo, sono stati provati. Oltre a dare delle informazioni qualitative del degrado, dai test si può stabilire l'estensione del degrado, o le informazioni quantitative sono infatti necessarie per il progetto di conservazione.

In generale si evita di effettuare i test sui nodi e se possibile lontano dai restringimenti. Gli strati alterati e la polvere vengono rimossi e vengono misurati i parametri ambientali e le condizioni di umidità. Entrambe sono state misurate precedentemente negli stessi punti. Successivamente vengono eseguiti i test di resistenza alla perforazione.

Tra le stesse specie, i valori in sito di resistenza alla perforazione variano a seconda del:

- contenuto di umidità
- intensità degli attacchi biologici
- densità degli anelli annuali
- densità del materiale
- presenza di nodi nascosti.

Prima dell'inizio del test di resistenza alla penetrazione, deve essere calibrata la sensibilità dello strumento sulla specie di legno da testare.

I test di resistenza alla penetrazione sono principalmente effettuati vicino ai punti di appoggio delle travi, con lo scopo di valutare le condizioni del legno all'interno delle sezioni in muratura, per questa ragione, infatti i test vengono effettuati a 45°, con l'ausilio dello speciale adattatore a 45°. Il test si considera concluso quando l'ago raggiunge la massima estensione o quando risulta completamente penetrata la sezione (Augelli et al, 2004).

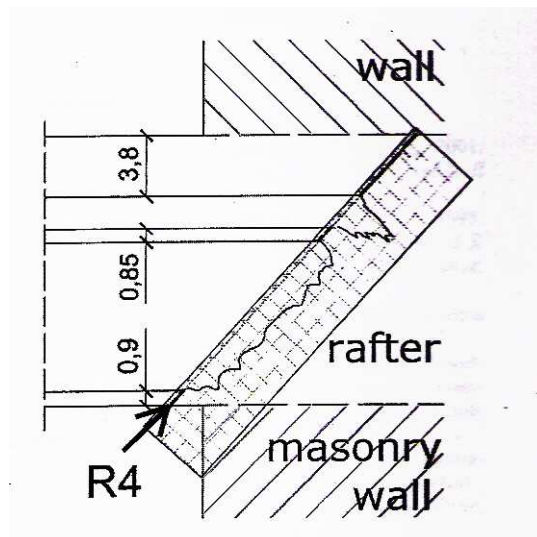


Fig. 6.30: Direzione di perforazione su una trave del tetto della ex filanda Meroni; la misurazione per motivi di accessibilità è condotta a 45° (Augelli et al., 2004).

CONCLUSIONI

L'obiettivo del lavoro svolto in questa tesi è di iniziare un percorso conoscitivo dell'edificio sede dell'Amministrazione Provinciale, fondamentale per determinare lo stato di conservazione dei materiali e la sicurezza statica dell'edificio. A tal fine si fa riferimento alla direttiva del 29 gennaio 2008 recante le linee guida per l'applicazione del DPCM del 12 ottobre 2007 per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni.

Il mio lavoro ha avuto come oggetto la prima fase del percorso della conoscenza, suggerito dalla normativa; è stata infatti effettuata una raccolta delle informazioni storiche sull'edificio e sulle modifiche strutturali; è stata effettuata una fase di rilievo geometrico dell'edificio con successiva fase di realizzazione di piante, sezioni e prospetti, per consentire di individuare univocamente gli elementi resistenti e i relativi rapporti costruttivi. Sono state condotte attente ispezioni visive della struttura e delle sue parti, con un duplice scopo: inizialmente hanno fornito un quadro generale delle condizioni attuali dell'edificio; successivamente sono state applicate più dettagliatamente per rilevare lo stato fessurativo degli elementi strutturali, al fine di ottenere il quadro fessurativo globale che ha fornito informazioni sui possibili dissesti subiti dal palazzo nel corso del tempo.

La presenza di una faglia di subsidenza situata al disotto dell'edificio ha comportato cedimenti differenziali dell'edificio; ne sono un esempio le lesioni inclinate a 45° presenti sulle facciate, nonché le lesioni longitudinali che attraversano le sale del piano nobile, tra le cui parti si riscontrano evidenti variazioni di quote, il dissesto del pavimento sottostante il portico esterno che ha anch'esso causato una variazione di quota di alcuni centimetri e le numerose lesioni presenti sulle finestre del piano terra, del primo piano (sala Rossa), in cui la fessura taglia la cornice superiore di tali finestre a 45° per poi seguire il profilo delle imposte fino a tagliare di nuovo a 45° la porzione inferiore delle aperture.

Il cedimento visibile nella volta sovrastante la sala dei caduti, potrebbe essere stato causato dalla nuova destinazione d'uso a pubblici uffici, che ha comportato picchi di sovraffollamento e aumento dei carichi permanenti.

Negli archi del cortile interno, e del portico su via Zamboni, sono visibili lesioni localizzate in chiave e sulle imposte: queste potrebbero essere state causate da stati tensionali di trazione, non compatibili con la resistenza del materiale.

Nella fase successiva del mio lavoro, è stata effettuata una ricerca bibliografica per apprendere ulteriori informazioni su uno strumento di indagine non distruttiva, il resistografo, da utilizzare per la valutazione dello stato di salute delle travi in legno della struttura di copertura; fase che sarà oggetto delle future indagini diagnostiche che interesseranno l'edificio per realizzare una conoscenza approfondita sulla base della quale poter poi intraprendere un intervento di consolidamento della struttura.

INDICE BIBLIOGRAFICO E SITOGRAFICO

Capitolo primo

BIBLIOGRAFIA

Arbizzani, L., 2001, “Palazzo Malvezzi tra storia arte e politica”, Industrie Labanti e Nanni.

Cuppini, G., 1974, “I palazzi senatori a Bologna. Architettura come immagine del potere”, Zanichelli Bologna.

Cuppini, G., 2004, “L'architettura senatoria. Bologna tra Rinascimento e Illuminismo”, Compositori.

SITOGRAFIA

<http://www.provincia.bologna.it/probo/Engine/RAServePG.php/P/827610010300/M/308310010310>

http://www.voltecupolesoffitti.it/pagine_php/edificio.php?id_edificio=3&lingua=0

http://images.google.it/images?hl=it&q=ARCHI+E+VOLTE&um=1&ie=UTF8&ei=dR9iSv2tDNPdsgbc_Ihb&sa=X&oi=image_result_group&ct=title&resnum=4

Capitolo secondo

BIBLIOGRAFIA

Direttiva del 29 gennaio 2008 recante le linee guida per l'applicazione al patrimonio storico e culturale dell'DPCM del 12 ottobre 2007, per la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni).

SITOGRAFIA

<http://www.gazzettaufficiale.it>

<http://www.mit.gov.it/mit/site.php>

Capitolo terzo

BIBLIOGRAFIA

Antonucci, R., 2003, “Restauro e recupero degli edifici a struttura muraria. analisi e interventi sul costruito storico”, Maggioli Editore.

Defez, A., 1983, “Il consolidamento degli edifici”, Liguori Editore.

Mastrodicasa, S., 1999, “Dissesti statici delle strutture murarie”, Hoepli Editore

Zevi, L., 2002, “Il manuale del restauro architettonico”, II edizione, Mancuso Editore.

SITOGRAFIA

<http://www.anvvfv.org/Dispense/Cedimenti%20delle%20strutture%20murarie%20fuori%20terra%20-%202%5E%20parte.ppt>

<http://www.sidercem.it/documenti/diagnosistrutture.pdf>

Capitolo quinto

BIBLIOGRAFIA

Binda, L., Drdàcky, M., Kasal, Bo, 2006, “In-situ evaluation and non-destructive testing of historic wood and masonry structures”, July 10-14 2006, Prague, Czech Republic

Borri, A., 2006, “Studi sulla conservazione e il restauro del patrimonio artistico architettonico ligneo”, Ligneo Materia.

Ceccotti, A., Giordano, G., Uzielli, L., 1999, “Tecnica delle costruzioni in legno”, V edizione, Hoepli Milano.

Giordano, G., 1946, “La moderna tecnica delle costruzioni in legno”, Hoepli Milano.

Laner, F., 2003, “Diagnostica delle strutture lignee”, collana Le guide Peter Cox, Flap Edizioni

Menicali, U., 1992, “I materiali dell’edilizia storica, tecnologia e impiego dei materiali tradizionali”, La nuova Italia scientifica.

SITOGRAFIA

<http://www.legnodoc.com/download/Work-ShopSAIE2001.pdf>

www.beniculturali.polimi.it da cui Binda, L., Saisi, A., “Il ruolo delle indagini nella diagnostica strutturale”

Capitolo sesto

SITOGRAFIA

http://www.implusa.com/html/impl_resistograph.html

http://www.implusa.com/html/hazard_tree_inspection.html

http://www.implusa.com/html/timber_structures.html

http://www.implusa.com/IML-RESI_F-series_eng_01-2008.pdf

http://www.implusa.com/Resistograph_Manual_from_Julian.pdf

http://www2.polito.it/ricerca/labdia/tecn_resisto_strum.htm

http://www.webalice.it/inforestauro/campo_invisibile.htm

APPENDICE:

LO STATO DELL'ARTE SULLE PROVE RESISTOGRAFICHE

Al fine di documentarsi sulle tecniche resistografiche da applicare (in un prossimo futuro) in sito nel sottotetto del palazzo della Provincia, è stata svolta una ricerca di literature review su articoli riguardanti l'applicazione del resistografo su elementi lignei.

Gli articoli selezionati applicano la tecnica sopra citate su alberi e strutture in legno. Di seguito viene riportato l'elenco bibliografico degli articoli relativi alla ricerca effettuata.

Le schede descrittive riassumono il contenuto dell'articolo, evidenziando la tecnica utilizzata, i procedimenti operativi seguiti e i risultati ottenuti.

RESISTOGRAFO: ELENCO BIBLIOGRAFICO

Augelli F., Colla C., Mastropirro R., (2004), Inspection and NDT to verify structural reliability of historic wooden roof in the ex- Meroni spinning- mill , Proc 4 th international seminar on structural analysis of historical constructions, Padova Italy, 10-13 November 2004, vol 1 pp 377-386.	9
Alvarez A., Gil L., López V., Monfort G., Navarro P., Palaia L., Pérez C., Sánchez R., Tormo S., (2008), Assessment of Timber Structures in Service, by Using Combined Methods of Non-Destructive Testing Together with Traditional Ones , Proc 9th International Conference on NDT of Art, Jerusalem Israel, 25-30 May 2008, Papers 060	15
Brashaw B.K., Ross R. J., Wang X., (2006), Structural condition assessement of in-service wood , <i>Forest product journal</i> , June 2006, v 56 n 6 pp 4-8.	12
Ceraldi C., Mormone V., Russo Ermolli E., (2001), Resistographic inspection of ancient timber structures for the evaluation of mechanical characteristics , Proc materials and strctures, January-february 2001, vol 34 pp 59-64.	4
Chang T., Guan B., Lee K., Lin S., (2006), Using the Loess Method to Extract Tree-ring Information from the Profiles of a Drill Resistant Device , <i>Taiwan J For Sci</i> 21(1), 109-17, 2006	10
Cheng-Jung L., Chih-Ming C., Far- Ching L., Song-Yung W., (2003), Effect of moisture content on the drill resistance value in tawania plantation wood , <i>Wood and fiber science</i> , 35(2), pp234-238, 2003	6
Creed I.F., Morrison D.L., Webster K.L., (2004), A comparison of techniques for measuring density and concentrations of carbon and nitrogen in coarse woody debris at different stages of decay , Proc <i>Canadian Journal of Forest Research</i> , March 2004, v 34, n 3, p 744-753	8
Drdacky M., Kasal B., Kloiber M., (2006), Field investigation of the 14th century Castle Pernstejn before and after fire damage , <i>Building integration solution</i> , Proc of the architectural engineering national conference, Omaha USA, 29 March- 1 April 2006.	11
Feio A. O., Lourenc P. B., Machado J. S., (2007), Chestnut wood in compression perpendicular to the grain: Non-destructive correlations for test results in new and old wood , <i>Construction and Building Materials</i> 2, 2007, 1617–1627	13
Gwaze D., Stevenson A., (2008), Genetic variation of wood density and its relationship with drill resistance in shortleaf pine , <i>Southern journal of applied forestry</i> , 2008, v 32 (3) pp 130-133.	14

Kappel R., Mattheck C., (2003), Inspection of timber construction by measuring drilling resistance using Resistograph F300-S , Proc <i>Structural Studies, Repairs, and Maintenance of Heritage Architecture, VIII, Institute for Materials Research II, Advances in Architecture</i> , Halkidiki Greece , 7- 9 May 2003, v 15, p 825-834.	7
López V., Palaia L., Sánchez R., (2008), Procedure for NDT and traditional methods of ancient buildings diagnosis, by using thermograph, digital images and other , Proc <i>17th World Conference on Nondestructive Testing</i> , Shanghai, China, 25-28 Oct 2008, Paper 577	16
Rinn F., (1994), Resistographic inspection of construction timber, poles and trees , Proc <i>pacific timber engineering conference</i> , Gold Coast, Australia, Luglio 1994, pp 1-9.	1
Rinn F., Schweingruber F. H., Schar E., (1996), Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species , Proc <i>Holzforschung</i> , v 50, n 4, p 303-311, 1996	2
Rinn F., (1998), Inspection and documentation of historic timber constructions , Proc <i>5th World Conference on Timber Engineering</i> , Montreux Switzerland, 17-20 August 1998, vol 2 pp 368-374.	3
Zombori B., (2001), In situ nondestructive testing of built in wooden members , Proc <i>12th International Symposium on NDT of Wood</i> , Sopron (Hungary), March 2001, vol 06 n 03, skatter	5

RESISTOGRAFO: SCHEDE DESCRITTIVE

Partner's number&acronim	05 UNIBO	DATE:	09/04/20	Nr:	1
--------------------------	----------	-------	----------	-----	---

Rinn F., (1994), **Resistographic inspection of construction timber, poles and trees**, *Proc pacific timber engineering conference*, Gold Coast, Australia, Luglio 1994, pp 1-9.

KEYWORDS: Resistograph, , wood density, drill resistance, tree ring analysis, decay detection, microdrilling

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

Use of the resistograph tool for examine the internal condition of trees and timber for a profound knowledge of material properties, for detect any damage.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Not available

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

The resistograph is used on tree in park and along the street, for the traffic safety, in order to examine the internal defects and provides growth estimation data. Besides, resistograph microdrilling and competent interpretation of the obtained evaluation of the charts is important to avoid damage and prepare restorations and replacements of ancient buildings. Other resistograph measurements were carried out on poles and piles, because the damage may cause strength losses and can lead to failure. Trough this tool is possible the detection of: fungal decay, insect damage, cracks, split, ring checks, voids, tree ring structures, density level. The method is used on standing trees, half- timbered buildings, wooden roofs, wooden utility poles and piles wooden bridges.

6. PARAMETERS CONSIDERED

Density variation, earlywood and latewood width, drill resistance, penetration depth

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

The resistograph tool drives a small and long needle into the wood with a constant advance and a constant rotational speed. The needle has a diameter of 1 to 1,5 mm and a maximum length of 1500 mm. the feed rate is selected by the user to the expected wood density. The power consumption of the drilling device is measured electronically as a relative measure of the drill resistance, is a constant advance is guaranteed. The drilling depth is visible on a display during measurement all the tim and in all position of drilling. The piercing angle, with which the needle penetrates the tree ring borders, is most important, in f act if the needle penetrates the tree ring perpendicular the profile clearly differentiates earlywood and latewood zones. On the pile and pole inspections, the measurements are possible in the transition zone at ground level and several centimeters below ground, especially for the ability to drill at an angle of 45°. The resistograph is connected with a battery pack, where is housed a printer. The printer prints the charts simultaneously as the measurements are taken. The charts give a first impression of the condition of examined tree, timber, pole or pile.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

The drill resistance values are recorded relative to the penetration depth on the chart

automatically. The charts reveal variation in the density of earlywood and latewood areas, thus indicating decay and decomposition. The different stages of decomposition can be inferred from the drops of the curves.

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

In this work the technique of microdrilling penetration on timber was utilized to determine the density variations in tree ring and to evaluate decay into the timber elements.

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

The resistograph method can be considered quasi-non-destructive (maximum bore hole diameter 3mm) the bore chips remain in the bore hole after measurement. The resistograph provides many advantages, much lower destruction combined with higher exactness, more reliability and better handling.

11. NOTABLE REFERENCE Nr: 1

Partner's number&acronym	05 UNIBO	DATE:	09/03/22	Nr:	2
--------------------------	----------	-------	----------	-----	---

[Rinn F.](#), [Schweingruber F. H.](#), [Schar E.](#), (1996), **RESISTOGRAPH and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species**, *Proc Holzforschung*, v 50, n 4, p 303-311, 1996

KEYWORDS: Resistograph, X-ray, wood density, drill resistance, tree ring analysis, decay detection

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

The use of resistographic charts of different wood to reveal tree-ring density variation. The resistograph charts are compared with the X-ray density charts.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Not available

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

Ten positions of resistographic test were done in six species, i.e. silver fir, larch, spruce, pine, lime and poplar.

6. PARAMETERS CONSIDERED

Density variation, earlywood and latewood width, drill resistance.

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

The resistographic drives a fine needle into the wood and measures the drill resistance as it rotates. The drill resistance concentrates at the tip. The feed of the needle is constant and it rotates continuously. The power consumption of the drilling device is measured electronically as a value of drill resistance. The charts reveal variations in the density of early and late wood areas thus indicating decay and decomposition. Different stages of decomposition can be inferred from the drops of the curves. Afterwards, was made a comparison of tree ring density values obtain by radial resistographic boring and by X-ray densitometry airseasoned wood. Averages, variances and standard deviation were calculated by means of DECOM program to obtain values for the numerical comparison of charts.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

The time series were analyzed by means of the tree ring time series program TSAP. They were correlated numerically and plotted in a graph. Average, variances and standard deviations were calculated by means of DECOM to obtain values for the numerical comparison of chart. The standard deviation is a measure of sensitivity of the charts and can be considered a criterion for differentiation between the density of early and late wood.

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

In this work the technique of microdrilling penetration on timber was utilized to determine the density variations in tree ring. The relative resistographic charts were compared with the X-ray charts.

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

The resistograph method can be considered quasi-non-destructive (maximum bore hole diameter 3mm) the bore chips remain in the bore hole after measurement.

The informational value of resistographic charts as compared to that X-ray density charts to investigate: the representation of intra annual density variation, the parameters on which they depend and relation between time series of tree ring density parameters of the resistograph and X-ray charts. It is difficult or impossible to identify narrow tree rings of undefined density in drill resistance charts. As is evident resistographic is not an independent dendrochronological tool for measurements on trees suitable tool for measurement and analysis of the densities of silences of wood and core samples.

11. NOTABLE REFERENCE Nr: 2

<i>Partner's number&acronim</i>	05 UNIBO	DATE:	09/04/20	Nr:	3
-------------------------------------	----------	-------	----------	-----	---

Rinn F., (1998), **Inspection and documentation of historic timber constructions**, Proc 5th World Conference on Timber Engineering, Montreux Switzerland, 17-20 August 1998, vol 2 pp 368-374.

KEYWORD. Resistograph, micro drilling, timber buildings, colours inventories, drill resistance, insect damage

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

Use the resistograph method to inspect historic timber construction, for structural evaluation, to prepare an architectural planning, and for an estimation of repair costs. In this paper is introduced a practical concept how to inspect historic timber constructions and how to document the results.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work.

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Not available

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

Inspect half timbered buildings, wooden roof of castles and churches and carried out more than 50.000 drill resistance measurements. In the average, one resistographic drilling per meter was carried out, although most of the drilling concentrate at joints and the ends of beams.

6. PARAMETERS CONSIDERED

Moisture content, decay.

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

The inspection concept covers a combination of different techniques to assess the inner condition of timber, including visual grading, conventional craftsman methods (using a hammer and other specific wood testing tools), measurements of moisture content and determination drill resistance. All results that are relevant for later working steps are documented in colour inventories. Timber condition and residual intact cross section are characterized by three different colours: yellow= intact, orange= partially decayed, purple= mostly destroyed. Furthermore the condition of the timber in general is shown, thus allowing architects, engineers and carpenters to distinguish the different cases: “inspected and evaluated” (yellow, orange, purple) and “not inspected”(no colour). For better handling reduced the colour inventories to A4 size, allowing engineers and craftsman to see required information on the site.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

The information is displayed in only three colours, even a scale 1:100 allows to identify all relevant details on A4 page.

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

In this paper is introduced a practical concept how to inspect historic timber constructions and how to document the results.

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

The capability of drill resistance method enabled to save a lot of historic material as compared to conventional inspection. Was possible to inspect invisible timber under floors, behind stucco or covered by other materials. Although in this case are necessary three times more drillings than normal, the advantages are largely predominant as compared to dismantling and often destroying the historical material covering the timber. In this way decreased the deviation from early cost estimation to less than approximately 5%. In addition long term maintenance costs have been reduced and more historical materials has been preserved. A satisfactory completion of work depend on the quality of such preliminary information.

11. NOTABLE REFERENCE Nr: 3

<i>Partner's number&acronym</i>	05 UNIBO	DATE: 09/03/22	Nr: 4
-------------------------------------	----------	----------------	-------

Ceraldi C., Mormone V., Russo Ermolli E., (2001) **Resistographic inspection of ancient timber structures for the evaluation of mechanical characteristics**, *Proc materials and structures*, January-february 2001, vol 34 pp 59-64

KEYWORD ancient timber structures, NDT assessing, resistographic method, wood worm damages, mechanical characteristics, beech.

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

Examine the possible employment of Resistographic method to study the variability of the mechanical characteristics of transversal sections on ancient timber structures, and also, investigating through the interior part of timber have a reliable idea of local strength of wood in the examined section.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work.

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Sample moisture content, measured by an electrical hygrometer (UNI 9091/87), varied during experimentation which took almost a year, from 11% and 12%.

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

To evaluate the resistograph charts sensibility as density meter, on two sandwich of different species built gluing 25 mm thick layers of each kind have been tested: one of conifers and one of broadleaf. Five resistographic tests for each sandwich have been made. To investigate the Resistograph sensibility to register even small density variations along a structural timber section a wood-worm damaged beech (*Fagus sylvatica* L.) timber has been chosen. The sample for the investigations consists of A beech beam, diameter 210 mm, taken from a demolished floor of the Cathedral in Cava dei Tirreni (Salerno - South of Italy). Four resistographic tests, with different orientations, have been done on seven sections traced at a distance of 50 mm. Later prismatic 25 x 25 x 50 mm specimens have been taken from each slice for density measurements, and axial compressive strength as be determined mechanically.

6. PARAMETERS CONSIDERED

Density variation, axial compressive strength, resistographic measures, moisture content.

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

Non-destructive tests have been performed with Resistograph E300PX, a drilling system with a resolution

of 0.1 mm. To evaluate Resistograph sensibility as density meter, some tests on coniferous and broadleaf wood have been done. Wood density is deducible from mean drill resistance reported in resistographic charts, and so, 16 prismatic specimens 25 x 25 x 50 mm have been taken from each layer and tested to measure density and axial compression strength (UNI ISO 3787/85) for each species. To investigate the damage generates density variations, the sample submitted to non-destructive and destructive experimental investigations consists of a beech beam, diameter 210 mm, four resistographic tests, with different orientations, have been done on seven sections traced at a distance of 50 mm. Once resistographic inspection has taken place, the log has been cut across previously described sections, giving eight slices, 50 mm thick. So resistographic charts corresponding to each section represent wood characteristics referred to the slices disposed on the right and left sides of the section itself. Prismatic 25 x 25 x 50 mm specimens have been taken from each slice for density measurements. Specimen dimension has been chosen to allow performance of axial compression tests as prescribed in existing rules, referring to small clear specimens and not dimensional lumbers.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

For the sandwich, density values and compressive strength values distributions are reported in the histograms. Density and axial compressive strength values of the whole sample, consisting of hardwoods and softwoods, are reported as functions of the resistographic measure in the diagrams, where linear interpolation curves of resistographic measure/density and resistographic measure/strength diagrams are shown. For the beech beam, the resistographic value is compared to the mean value of densities corresponding to specimens taken from right and left slices on each side of the resistographic drilling. Correlation between measured quantities can be expressed by a potential curve, constructed with a minimum square method.

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

In this work the technique of microdrilling penetration on timber was utilized to study the variability of the mechanical characteristics of transversal sections on ancient timber structures and also to find the extension of damage. These technique are compared with the axial compression test.

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

Resistograph showed great efficiency, because resistographic inspection goes in depth across the examined timber section, and consequently, it gives more reliable information than the methods

whose action is limited to the superficial layers. In the sandwich, while the linear correlation of density with resistographic measure is good enough, between resistographic measure and axial compressive strength, there is no correlation, as the whole sample consists of different kinds of wood. The experimentation on beech wood proved significant as density and corresponding resistographic measure variations due to wood-worm attack are quite evident.

11. NOTABLE REFERENCE Nr: 4

<i>Partner's number&acronim</i> 05 UNIBO	DATE: 09/03/22	Nr: 5
----------------------------------------------	----------------	-------

Zombori B. In situ Nondestructive Testing of Built in Wooden Members, *Proc 12th International Symposium on NDT of Wood*, Sopron (Hungary), March 2001, vol 06 n 03, skatter

KEYWORD drill resistance, resistograph, control of living trees, built- in members, density of wood, Stress Wave Method, Ultrasonic Techniques, Acoustic Emission, Acoustic Ultrasonic, Screw Withdrawal, Pilodyn Method, X-ray Technique, Isotope Method, Sniffer Dogs.

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

The objective of the paper is to give an overview of the most widely used nondestructive testing techniques in the forest products industry, while focusing on the methods feasible to assess the integrity of built in wooden members. The drill resistance method was used for quality control of living trees, built- in members, and utility poles. Also this method can be used for the dating and study of annual rings in trees (Dendrochronology).

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Techniques review

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Not available

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

The materials used are the forest products industry and built in wooden members.

6. PARAMETERS CONSIDERED

Density variation.

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

The drill resistance method is based on that the resistance of a small diameter drill bit as it penetrates into the material at a constant speed correlates with density. A new equipment based on this idea is called the "Resistograph". The equipment is composed of: a measures the drill resistance of a small drilling needle with a diameter between 1.5 and 3 mm and turns it to density data. The needle is shaped in that way, that deeper penetration does not affect the drill energy consumption through friction. The maximum penetration of the drill is 100 cm.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

The measured density profile can be stored in a computer or printed out simultaneously as the drill penetrates into the material.

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

Are not innovative features.

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

This paper presented the most common areas where NDT methods are frequently used in the forest products industry, namely defect detection, grading of structural products, in-situ wood structure evaluation, and health monitoring of living trees. The resistograph method, in particular,

is quasi nondestructive, since the diameter of the whole is so small, that the weakening effect caused by the whole is negligible. The resolution of the method is so good, that density variations even between growth rings can be detected.

11. NOTABLE REFERENCE Nr: 5

Partner's number&acronim	05 UNIBO	DATE: 09/04/22	Nr: 6
--------------------------	----------	----------------	-------

Cheng-Jung L., Chih-Ming C., Far- Ching L., Song-Yung W., (2003), **Effect of moisture content on the drill resistance value in tawania plantation wood**, *Wood and fiber science*, 35(2), pp234-238, 2003.

KEYWORDS: Taiwania, drill resistance technique, resistograph, moisture content, bulk density.

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

The objectives of this study were to investigate the effects of the moisture content (MC) on drill resistance values, and the correlation between MC with drill profile of lumber specimens during desorption stages from water-saturated to air dried status in Taiwania plantation wood.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Specimens were treated until they reached water saturated.

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

The dimensions of radial direction specimens for measuring drill profile were 20 mm tangential, 10 mm radial, and 180 mm longitudinal. The number of specimens and their average bulk densities were 77 and 0,284 (g/cm³) respectively.

6. PARAMETERS CONSIDERED

Moisture content, bulk density, drill resistance,

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

The drill resistance technique was found to be a good measuring tool for the density profile of taiwania in the radial direction. However when applied to living trees, green logs and green sawn timbers the drill resistance values are significantly affected by water in the lumber.

Specimens were treated by the Bethel process method, several times until they reached water-saturated status. The drill profile in the radial direction of specimens was measured by resistograph. Drill profiles were conducted each time weight losses of 5-8g occurred during desorption from water saturated to air-dried status. The MC during the procedure was calculated according to a mathematical expression.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

Relationship between drill resistance values in the radial direction with MC and relationship between drill resistance values of aired- dried wood in radial direction with bulk density are expressed as a linear regression equation, are also shown in two different charts, in both drill resistance is always in ordinate.

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

Details the effect of moisture content (MC) on drill resistance values in lumber.

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

The drill resistance values in the radial direction tended to decrease with decreasing moisture content. The relationship was expressed as a linear regression equation. Drill resistance also tend to increase with increasing bulk density.

11. NOTABLE REFERENCE Nr: 6

<i>Partner's number&acronim</i>	05 UNIBO	DATE:	09/03/22	Nr:	7
-------------------------------------	----------	-------	----------	-----	---

Kappel R., Mattheck C., (2003), **Inspection of timber construction by measuring drilling resistance using Resistograph F300-S**, *Proc Structural Studies, Repairs, and Maintenance of Heritage Architecture, VIII, Institute for Materials Research II, Advances in Architecture*, v 15, p 825-834, 2003

KEYWORDS: Resistograph F300-S, drilling resistance, wood decay, timber damage, cracks in timber, drill resistance profile,

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

The resistograph was used to evaluate the quality of timber, to prevent unnecessary wood damages. It is also utilized for detecting and measuring cracks, voids, and decay in different stages in the invisible inside of the structure.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Not available

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

The drilling resistance profiles are obtain for beam with different damages (for a not decay timber, for timber with craks, and for timber with decay) , and for different mortise and tenon joint (both pine, pine/oak, with void)

6. PARAMETERS CONSIDERED

Density distribution, drilling resistance

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

Micro drilling with the resistograph F300-S were taken from beams on different condition and from different joint. The resistographic profiles obtained are compared with the corresponding saw-cut. Observing and interpreting the profiles can see the invisible inside of structure. In this paper, three different beams have been studied; the first without damage, the second with a crack, and the last with decay. Also different type of joint have been studied :is the joint with different materials for mortise and tenon, that the mortise and tenon with a void. The microdrilling are made on perpendicular and parallel direction to the tree-rings, and through the join, perpendicular to its length.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

Not available

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

The technique of microdrilling penetration on timber was utilized for detecting and measuring cracks, voids, and decay in different stages in the invisible inside of the structure.

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

Best results are obtained, if the direction of the drill is perpendicular to the annual rings. Microdrilling is extended earlywood areas i.e. parallel to the annual ring or along cracks show a lower drill-resistance. They are more difficult to interpret. In those cases a second microdrill in cross direction is helpful to determine the mode and extend of a damage.

11. NOTABLE REFERENCE Nr:7

Partner's number&acronim	05 UNIBO	DATE:	09/03/23	Nr:	8
--------------------------	----------	-------	----------	-----	---

Creed I.F., Morrison D.L., Webster K.L., (2004) **A comparison of techniques for measuring density and concentrations of carbon and nitrogen in coarse woody debris at different stages of decay**, *Proc Canadian Journal of Forest Research*, March 2004, v 34, n 3, p 744-753

KEYWORDS: forest wood , concentration carbon , concentration nitrogen, coarse woody debris, measuring density, Resistograph

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

In this study, the resistograph is used as field-based method that may provide a surrogate for density by measuring resistance along a drilling axis, and was used in a combination of different analysis for under stand the relationship between the stage of decay and the concentration of nitrogen (N, %) and the ratio of carbon to N (C/N) in coarse woody debris (CWD), which constitute a significant component of forest ecosystems as biomass in mature forests.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research. The study was conducted on wood recollected in the Noland Divide Watershed (NDW) (35°34'N, 83°29'W).

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Not available

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

CWD bole samples of red spruce and Fraser fir, representing the range of five decay classes (Fogel et al. 1973), were collected at NDW during the summers of 1998 and 1999. The criteria for collection of the CWD boles were (1) that the diameter of each bole be ≥ 10 cm; (2) that there be a minimum of 15 boles in each of the five decay classes; and (3) that the boles be located over the range of elevations within which each species occurred. Each criterion was not always met, as the abundance and distribution of CWD within the watershed was not uniform.

6. PARAMETERS CONSIDERED

displacement density, mensuration density, penetrometer readings, concentration of nitrogen (N, %) and the ratio of carbon to N (C/N),

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

Several bole were brought into the laboratory. For each CWD bole, displacement density (g/cm³), mensuration density (g/cm³), penetrometer readings (kg/cm²), and resistograph readings (cm²/cm of diameter) were measured with discs (or cross sections) removed from the bole. Resistograph readings (cm²/cm) were taken using the Resistograph F300 (Instrument Mechanic Labor, Inc., Kennesaw, Ga.). The Resistograph F300 is a microdrill that measures resistance along a drilling axis and records this resistance on a chart.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

Not available

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

In this work the technique of microdrilling penetration on timber was used in a combination of different analysis for under stand the relationship between the stage of decay and the concentration of nitrogen (N, %) and the ratio of carbon to N (C/N) in coarse woody debris (CWD)

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

The resistograph offered a more expensive, simple field-based method that explained a slightly larger degree of the variation in N concentration and C/N ratio in CWD. This technique was not as accurate as destructive techniques, such as displacement or mensuration. The resistograph show problems related to detection limits when estimating density of CWD. The method, that is selected for estimating density will be determined by a combination of factors, including budget, time, and the required precision and accuracy of the data. These techniques were not as accurate as destructive techniques, such as displacement or mensuration. The resistograph show problems related to detection limits when estimating density of CWD. The penetrometer has an upper detection limit of 4.50 kg/cm² and thus is unable to provide an accurate reading in CWD that has relatively high density. In contrast, the resistograph has a lower detection limit of about 0.20 cm²/cm of diameter for CWD in advanced stages of decay with some remaining.

11. NOTABLE REFERENCE Nr:8

<i>Partner's number&acronim</i> 05 UNIBO	DATE: 09/04/22	Nr: 9
----------------------------------------------	-------------------	----------

Augelli F., Colla C., Mastropirro R., (2004), **Inspection and NDT to verify structural reliability of historic wooden roof in the ex- Meroni spinning- mill**, Proc 4th international seminar on structural analysis of historical constructions, Padova Italy, 10-13 November 2004, vol 1 pp 377-386.

KEYWORDS: NDT, resistograph, micro drilling, wooden roof structures, class of biological risk, wood moisture condition, residual bearing resistance.

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

In this paper, inspection and NDT have been carried out on the wooden roof structures to verify and quantify the material consistency, to determine the degree of decay and risk of collapse of the ex Meroni spinning-mill.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Case study

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Not available

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

The resistographic test was designed to verify the level of attack in the wood as a preliminary to the formulation of the hypothesis about how to preserve these ancient structures, it was important to quantify the damage to establish whether it would be necessary to substitute parts of the wood structures. Tie beams in the trusses in the North building and principal rafters in the trusses in the South building were sample tests.

6. PARAMETERS CONSIDERED

Moisture content, intensity of bio-attacks, density of annular rings, material density, mechanical resistance to penetration .

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

The identification and inspection phases, preceded by the drawing up of the diagnostic investigation project, included: recognizing the wood species, determining their natural durability and class of biological risk, locating and technically evaluating their main defects, alteration and critical zones, the singling out of pathologies, either under way or non active, the surveying of environmental and wood moisture conditions via NDT measurements, evaluating the residual bearing resistance of the individual items by means of penetration resistant test in the areas of decay, whether real or suspected (zones not directly accessible, such as the bearing points and joints) together with photographic surveys. The NDT test with the resistograph is made on tie beams in the trusses in the North building and on principal rafters in the trusses in the South building. This test involved a total of 23 penetration resistant test, and are chose reading points on one side of side of the element as close as possible to the masonry, for this reason, the tests were carried out at 45°. The test ended when the drill reached the maximum extension of the needle or when the needle had completely penetrated the section.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY

The data plotting and reporting is articulated on the basis of thematic maps (in scale 1:100 and 1:50) as follows: the classification of each wooden item in a catalogue , considerations concerning their structural reliability, assessment of residual resistant section and initial intervention indications. The number of element inspected amounted to more than 185. each element has a number, and each one is structured in a table where are collected all data relating to the same element.

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

Not available

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

The Meroni spinning mill wooden roof structures were inspected and tested in relation to the preservation project. As the result of a prolonged lack of maintenance, the elements have been subjected to wide spread local water leakage for many years. This has given rise to irreversible decay in the material in limited areas, and particularly in high risk areas such as at the bearings. In the South building's trusses, four of the main rafter's ends need to be replaced, four further rafters are to be wholly replaced. The wood salvaged from rejected members could be re used for prostheses. Where there is total member replacement it is advisable to employ high-grade timber which is pre-treated in autoclave.

11. NOTABLE REFERENCE Nr: 9

<i>Partner's number&acronim</i>	05 UNIBO	DATE:	09/03/23	Nr:	10
-------------------------------------	----------	-------	----------	-----	----

Chang T., Guan B., Lee K., Lin S.,(2006), **Using the Loess Method to Extract Tree-ring Information from the Profiles of a Drill Resistant Device** *Taiwan J For Sci* 21(1), 109-17, 2006

KEYWORDS: loess, tree ring, micro-drilling device, nonparametric regression, RESISTOGRAPH

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

Microdrilling devices can provide a faster and more-efficient way of collecting tree-ring data nondestructively; therefore, to extract tree-ring information from the profiles of a drill resistant device we use the loess method. Tree-ring analysis provides invaluable information for understanding not only tree growth and forest dynamics, but also past climatic conditions.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Not available

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

For this study, 30 sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) trees planted in Yilan County, northeastern Taiwan (24°34'N, 121°23'E), after were selected and felled. For each tree, a cross-sectional disc 40 cm in thickness, centered at breast height (1.3 m above ground), was taken and brought back to the laboratory for drilling and further processing.

6. PARAMETERS CONSIDERED

Wood density, ring number, ring width, relative resistance value.

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

As the device penetrates a tree, it records relative resistance values (ranging from 0 to 4095) at a resolution of 100 data points mm⁻¹. The relative resistance values from the device are correlated with the wood density values measured by X-ray. Relative resistance peaks (or valleys) should be used in determining the number of tree rings. Once the number of rings is decided, then the ring width can be defined as the distance between two rings. For each disc, a drilling profile was taken at the center of the disc (i.e., at the DBH position). Drilling stopped as soon as the drill bit drilled through the disc. Immediately after drilling, each disc was cut to reveal the complete drilling path. The six discs were subsequently sanded and polished to a suitable smoothness for scanning. The optical resolution of each scanned image was 1,200 dpi (dots per inch). For the scanned images, ring numbers and widths were determined using the software LignoVision, which is an image analysis tool that works with any scanner and allows automatic tree-ring detection. Wood drilling resistance data are locally and serially correlated, we used a nonparametric locally weighted regression method, called loess, to extract the desired information from the drilling profiles

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

Used a nonparametric locally weighted regression method (loess) to extract tree-ring numbers and widths from the drilling profiles generated by a RESISTOGRAPH.

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

Using the loess method to extract the tree ring information from the profile of a drill resistant device.

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

This study demonstrated that when coupled with a smoothing procedure like loess, micro-drilling devices such as the one used in this study indeed have the potential to be used for collecting tree-ring information non destructively. Our results showed that the estimated ring number based on the fitted loess curves and the scanned images were in agreement. The ring width estimates based on loess and the scanned images also matched each other well, except near the pith areas. We determined that the most important factor in determining the accuracy of the collected information is the drilling path.

11. NOTABLE REFERENCE Nr: 10

Partner's number&acronim	05 UNIBO	DATE:	09/04/02	Nr:	11
--------------------------	----------	-------	----------	-----	----

Drdacky M., Kasal B., Kloiber M., (2006), **Field investigation of the 14th century Castle Pernstejn before and after fire damage**, *Building integration solution*, Proc of the *architectural engineering national conference*, Omaha USA, 29 March- 1 April 2006.

KEYWORDS: Castle Pernstejn, fire damage, ancient timber structures, resistance drilling, ultrasound test, cores, resistograph 2450p, tension micro specimen, moisture contents, density

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

Find the state of health and the mechanical properties of the wood elements belong to the castle

Pernstejen, through the use of destructive and not destructive methods of assessment. After the fire in the spring of 2005, non-destructive tests are repeated on the elements to assess changes in mechanical properties

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Case study

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Not available

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

The investigated area had 16mx7,70m floor plan, and contained 24 beams. in each beam some points are chosen: (SY) stands for the test point where resistance and core drillings and ultrasound measurements were taken before the fire; S stands for the test points where the relevant measurements were taken after fire with non destructive method.

6. PARAMETERS CONSIDERED

Moisture contents, density, resistance drilling, resistance.

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

The resistance drilling used common equipment (RESISTOGRAPH 2450p – Rinntech). The goal of the resistance drilling is to determine potential internal defects or voids. A 1.2 mm- diameter needle is used as a drilling tool. The amount of energy needed to maintain a constant cutting speed is plotted against the drill's position. This permits the investigators to find the location of a potential defect. After the fire some part of the investigated structure was significantly damaged. Resistance drilling and ultrasound tests were conducted on the remaining members to establish the residual cross sections. The results obtained with microdrilling and ultrasound before and after the fire are compared to assess the loss of resistance.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

The comparative measurements included only resistance drilling, driven rod penetration (Pilodyn) and ultrasound. Figure shows a series of results from resistance drilling in the corresponding locations on individual beams. The bottom line in the figure indicates the loss of resistance and a drop in the resistance indicates the beginning of the charred layer.

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

Comparison of results obtained before and after the fire to assess the residual strength of wooden elements

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

The results were influenced by differences in moisture content of the investigated timber. Despite the different moisture content conditions before and after fire, the results clearly show a significant decrease of wave velocity through the timber damaged by the fire. The penetration test (Pilodyn) as also affected by the moisture contents and change in the penetration depth is potentially due to the increased wood moisture contents of the fire-damaged material. Drilling resistance dropped in the majority of beams compared to the values measured before the fire. The shift of the resistance paths toward slower drilling resistance was due to the higher moisture contents of firedamaged wood. The sudden drop of the drilling resistance was due to the loss of the cross section. The advantage of using ultrasound over resistance drilling is in ease of use and ability to cover larger areas. Ultrasound can only give an indication of a potential internal defect but cannot be used to measure the size of the defect or estimate mechanical properties.

11. NOTABLE REFERENCE Nr: 11

<i>Partner's number&acronim</i>	05 UNIBO	DATE:	09/04/22	Nr:	12
-------------------------------------	----------	-------	----------	-----	----

Brashaw B.K., Ross R. J., Wang X., (2006), **Structural condition assesment of in-service wood**, *Forest product journal*, June 2006, v 56 n 6 pp 4-8

KEYWORDS: Resistograph, drill resistance, stress wave, ultrasound- based, visual inspection

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

Structural condition assessment of the conditions of timber structures, trough the NDT method, such as visual inspection, resistance drilling stress wave and ultrasound techniques.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Not available

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

Drilling resistance is generally used to confirm suspected areas of decay identified by visual inspection or a stress wave transmission test.

6. PARAMETERS CONSIDERED

Drilling resistance, angular speed, density.

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

Structural condition assessment consists of the:1) a systematic collection and analysis of data pertaining to the physical and mechanical properties of material in use;2) evaluation of the data collected; and 3) providing recommendations, based on evaluation of the collected data, regarding portions of an existing structure that affect its current or proposed use. A wide variety of techniques are used to assess the condition of wood in structures. Visual, resistance drilling, and stress wave or ultrasound-based techniques are all used either individually or in combination to inspect in service wood.

When decay is detected, drilling can help inspectors to further define the decay's extent and limits.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

The resistance drilling values are reported on a paper chart and an electronic device connected with a PC.

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

Not available

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

11. NOTABLE REFERENCE Nr: 12

<i>Partner's number&acronim</i>	05 UNIBO	<i>DATE:</i>	09/03/23	<i>Nr:</i>	13
-------------------------------------	----------	--------------	----------	------------	----

Feio A. O., Lourenc P. B., Machado J. S., (2007), **Chestnut wood in compression perpendicular to the grain: Non-destructive correlations for test results in new and old wood**, *Construction and Building Materials* 2, (2007), 1617–1627

KEYWORDS: Resistograph, mirodrilling wood, timber specimens, new chestnut wood (NCW), old chestnut wood (OCW), ultrasonic testing, Pilodyn, compression strength, failure modes.

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as

1. PURPOSE OF WORK

The objective of this paper is to discuss the possibility of using NDE methods for the evaluation of strength and stiffness of chestnut wood in compression perpendicular to grain. The effect of annual rings orientation towards load direction and the effect of age-related degradation are taken into account. Regression analyses are carried out in order to obtain correlations between mechanical properties and density and non-destructive methods.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Before testing, the specimens were conditioned in a climatic room capable of keeping constant temperature

(20 ± 2 °C) and humidity ($65 \pm 5\%$). The tests specimens were considered conditioned when the density variation

was smaller than 0.5% in a period of 2 h, as recommended by the EN 408 standard.

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

The average size of the specimens adopted in the testing program was originally 50 · 50 · 300 mm³. Each specimen was cut in three smaller samples of 50 · 50 · 100 mm³: two specimens were tested in laboratory up to failure, and the third specimen was used for the additional non-destructive tests (Resistograph and Pilodyn 6J). The specimens were divided in different groups by orientation of the annual growth rings with respect to the direction of loading. This is important for adequate insight in the experimental results. Four groups were considered: radial, diagonal, tangential and diffuse. The specimens were also divided in two groups: New Chestnut Wood (NCW) and old chestnut wood (OCW). The densities were measured using an electronic weighing machine with a precision of 0.01g.

6. PARAMETERS CONSIDERED

The most relevant material properties when dealing with compression perpendicular to the grain are the compressive

strength and the elasticity modulus. Other parameters considered are: uniaxial compressive strength, density, and stiffness. Temperature and humidity

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

The experimental work studies the correlation between mechanical compression strength and non-destructive value of chestnut wood. Three non-destructive methods (ultrasonic testing, Resistograph and Pilodyn) are proposed and the possibility of their application is discussed based on the application of simple linear regression models. The results show, in general, good correlations between compression strength and stiffness with non-destructive techniques. The orientation of the loading direction must be taken into account. The Resistograph is usually adopted to obtain density profiles, it is a commercial testing equipment based in micro-drilling wood at constant speed, and measuring the energy required for maintaining that speed. In the present testing program, drilling was made parallel to plane RT (planes TL and LR), which, in real cases, represents the accessible faces of timber elements.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

The correlations between the resistographic measure and the density, between the resistographic measure and the elasticity modulus, and the correlations between the resistographic measure and the uniaxial compressive strength for the NCW and OCW groups, are showed in diagrams by using simple linear regression models.

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

Novel correlations have been proposed for density, elasticity modulus and compressive strength

perpendicular to the grain, using the resistograph, pilodyn and ultrasonic testing.

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

As a first conclusion, it is possible to confirm that load history and time do not change the mechanical and physical properties of sound wood. Novel correlations have been proposed for density, elasticity modulus and compressive strength perpendicular to the grain, using the resistograph, pilodyn and ultrasonic testing. In the diagrams, the scatter in the results is too high and no correlation can be found between the two quantities (resistographic measure and the density). In addition, the difference between the groups of NCW and OCW is also too large. For other quantities weak linear correlations were found.

11. NOTABLE REFERENCE Nr: 13

<i>Partner's number&acronim</i>	05 UNIBO	DATE:	09/04/26	Nr:	14
-------------------------------------	----------	-------	----------	-----	----

Gwaze D., Stevenson A., (2008), **Genetic variation of wood density and its relationship with drill resistance in shortleaf pine**, *Southern journal of applied forestry*, 2008, v 32 (3) pp 130-133

KEYWORDS: Resistograph, , wood density, drill resistance, tree ring analysis, efficiency of selection, genetic correlation, heritability, Pinus echinata Mill

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

Reports the variance components, heritabilities, and correlations for wood density and resistograph amplitude for Shortleaf pine grown in Missouri. It evaluates the value of the resistograph amplitude for measuring wood density of live shortleaf pine trees.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Not available

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

Phenotypically superior selection of wild trees were grafted to establish a first generation seed orchard at the Womble Ranger District, Mount Ida, Arkansas. The orchard consisted of 50 parents selected from throughout the natural range of shortleaf pine within the Mark Twain National forest. Open pollinated seed was collected from the clonal seed orchard, and a series of first generation progeny tests were established. The progeny test design was randomized complete block design replicated five times with four-tree row plots for the 50 families. A total of 1,176 trees were planted at a spacing of 2,4x 3,0m .

6. PARAMETERS CONSIDERED

Drill resistance (amplitude), wood density

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

In 2007, at age 25 years, pith- to bark 5,15 mm diameter cores of wood were extracted from the midwhorl closest to breast height (1,3m) from all surviving trees within a plot using an increment borer. Wood density varies along the length of the tree stem, and also, its value estimates at breast height are known to be reliable predictor of average wood density of a tree. Wood density was determined for the total core using the volumetric method using water displacement. In 2007, a model F 400-S Resistograph was used to record drill resistance at breast height on all surviving

trees in the progeny test. One bark to bark measurement was taken per tree, are drilled 3 cm above the hole of the increment core to reduce variation between the two measurement. The amplitude readings were determined by visual assessment of the resistance profiles in IM L F tools pro software, then were imported into Microsoft Excel and for each individual tree the mean amplitude was determined.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

At the individual-tree level the linear relationship between estimates for core density and amplitude was weak and positive. At the family mean level the relationship was stronger. At the family mean level, the relationship between amplitude and wood density was stronger in their study. The genetic correlation between wood density and amplitude was moderately high (0,74) and its standard error was moderate (0,11).this correlation was higher than its corresponding individual-tree phenotypic correlation, a result also observed in many genetic studies.

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

Additional studies using different Resistograph models and verifying results with those from other tests at different locations and ages are necessary to improve effectiveness of using drill resistance as a surrogate for wood density in shortleaf pine improvement.

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

Te resistance profile revealed a gently upward-sloping trend from bark entry to pith midpoint, and beyond pith midpoint some trees had very erratic amplitude recordings, probably because of increased friction. Are excluded the readings beyond the pith because of the irregular sloping patterns in those measurements. There are several possible factors that may have caused a weak r moderate linear family mean relationship between wood density and drill resistance. Using the resistograph appears to be a rapid, non destructive, and inexpensive method to measure wood densities of live trees in a shortleaf pine breeding program.

11. NOTABLE REFERENCE Nr: 14

<i>Partner's number&acronim</i>	05 UNIBO	DATE:	09/03/23	Nr:	15
-------------------------------------	----------	-------	----------	-----	----

Álvarez A., Gil L., López V., Monfort G., Navarro P., Palaia L., Pérez C., Sánchez R., Tormo S., (2008), **Assessment of Timber Structures in Service, by Using Combined Methods of Non-Destructive Testing Together with Traditional Ones**, Proc 9th International Conference on NDT of Art, Jerusalem Israel, 25-30 May 2008, Papers 060

KEYWORDS: Resistograph, microdrilling, historic timber structures, degradation factors, destructive and non destructive testing, ultrasonic, wood hardener tester, pilodyn.

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

The objective of this project is to define a method of assessment of historic buildings by using non destructive testing. A method for NDT evaluation of timber structures, together with visual inspection, and a minimum of destructive testing (just to determine a few parameters) to obtain conclusions about the structural elements mechanical characteristics, is presented. The instruments applied in situ are micro drilling, ultrasonics and wood hardener. NDT are useful techniques to shorten the time to arrive to a diagnosis, and minimize causing damage to the sound timber.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research;Case study "Villa Ivonne" Meliana Valencia city.

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Not available

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

Five old timber beams were selected to obtain probes from its endings. This number was considered enough to compare the data given by the different NDT instruments, at the same time that it was possible to do an intense visual inspection, defining annual rings direction, its width, regularity, knots presence, and any other organoleptic characteristic of the material.

6. PARAMETERS CONSIDERED

Discontinuities and wood density or consistency, depth resistance.

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

All NDT instruments were tested on the building site by this research group, together with visual inspection, besides, five old timber beams coming from a discarded timber structure were selected to obtain wooden probes, which are testing at the laboratory. These probes were identified, drawn and photographed, previously the testing was developed. In each probe grid was traced to define the position of microdrilling, ultrasonic auscultation and hardener testing. The small probes gave, at least, 16 points for microdrilling, 6 ultrasonic auscultation points and 8 wood hardener testing. The results obtained from various tests are compared with each other to evaluate the mechanical properties.

Resistograph, consists of a 1,5 mm diameter drill probe, that penetrates up to 45 mm into the timber element. The force employed by the motor varies to give a constant velocity of penetration. These variations are due to the different consistency of the annual rings, knots, holes, decayed material, describing a graphic 1:1 scale, in which the interior of the element can be observed. Each probe was tested in all directions, giving data of at least 6 points in the larges faces and at least 4, in the smaller ones. In “case study” the microdrilling was applied, one each three elements, and where alterations were detected.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

In the graphics the mean values of microdrilling are compared with mean values of the wood hardener results .

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

Are not innovative features

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

It was not possible to find any relationships between ultrasonics with mean values of microdrilling testing.

Some conclusions were obtained comparing mean values with the wood hardener results and the first millimetres mean values of microdrilling. There is a statistic relation between mean values determined by Pilodyn testing (impact resistant, in millimetres of penetration) and microdrilling (depth resistance of the drilling). The value interval belonging to each drilling is of a wide range. It is an inverse relationship between the resistance to impact, that will be higher when wood have less consistency, and microdrilling values are lower when wood quality is in worst condition. There exist correlations between bending strength, MOE, ultrasonics in axial direction, wood hardener and mean/max values of microdrilling that came out of former research works. Microdrilling may be used to “observe” the interior of the wooden beam, but a fast information can be gathered by using ultrasonics and wood hardener testing.

11. NOTABLE REFERENCE Nr: 15

<i>Partner's number&acronim</i>	05 UNIBO	DATE:	09/03/23	Nr:	16
-------------------------------------	----------	-------	----------	-----	----

López V., Palaia L., Sánchez R., (2008), **Procedure for NDT and Traditional Methods of Ancient Buildings Diagnosis, by Using Thermograph, Digital Images and Other**, *Proc 17th World Conference on Nondestructive Testing*, Shanghai, China, 25-28 Oct 2008, Paper 577

KEYWORDS: historic buildings, NDT assessing, thermograph images, micro drilling, ultrasonic,

Please fill in the template trying to answer the following points, but also add more points as needed

1. PURPOSE OF WORK

The NDT method, as ultrasonic, micro drilling and wood hardener are used for timber structural elements assessment of some ancient buildings at Picanya, Valencia. Comparison between the data coming out from the diverse NDT instruments applied and traditional methods, looking for correlations between them.

2. RESEARCH/CASE STUDY/PROFESSIONAL WORK

Research

3. EXPERIMENTAL WORK/MODELLING

Experimental work

4. DATE/TIME/ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Not available

5. OBJECT OF WORK / MATERIALS (size, numbers, physical-mechanical properties), DURATION

Tests are made on wooden elements (floors and roof structures) of historical buildings at the Valencian Community.

Generally timber used was *pinus sylvestris*. These structures may be decayed by root and insect attack. A visual inspection of timber elements after including all the information obtained on site: sizes of the square sections, moisture content, defects, grain deviation, number of knots and its size in reference to the face in which those are contained, decay, and other characteristics that are necessary to define the structural quality of timber and its decay. After the NDT are applied at the timber element: ultrasonic, on all element; wood hardener on all element, and the microdrilling procedure was applied on one element each three, and in all elements where alterations were detected.

6. PARAMETERS CONSIDERED

Moisture content measurement, MOE approximation, density, external consistency, internal observation of the element.

7. TECHNIQUES EMPLOYED / INSTRUMENTATION (technical specifications)

Use microdrilling device, Rinntech 3450, to improve the data gathering method in order to obtain more accurate results in order to evaluate the timber structure. After the necessary previous testing of the microdrilling device in 5 probes of old timber at the laboratory, and comparing these results with those coming from the other devices quoted before for NDT, also applied at the same probes, it was possible to systematize a procedure of data gathering at the building site.

A visual inspection must be the first step to do for the data compilation of each timber element. Record cards were done for each element, previously identified with a proper code, including all the information obtained on site. Afterwards the NDT was applied, Ultrasonics, to make an approach to the MOE, Wood hardener tester, to determine surface consistency and microdrilling to give a “view” of the timber element interior, one each three and in all elements where alterations were detected.

8. DATA PROCESSING/ DATA DISPLAY TYPE

The results obtained by the NDT are shown in a table

9. NEW POINTS / INNOVATIVE FEATURES

Are not innovative features

10. CONCLUSIONS (also comparison with other measuring techniques, if available)

The microdrilling method was used to improve the data gathering analysis, correlated to ultrasonics and wood hardener tests.

Resistograph graphics printed out, and later analysed by means of data bases reveals what happens

in the interior of the timber element, being possible to precise the extension of the damage. Some media values about the mechanical characteristics of timber may be obtained by comparing the results.

11. NOTABLE REFERENCE Nr:16
